

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2016

Miroslav Petrakovič

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektrotechniky

Návrh systému ochrany před bleskem LPS
podle EN 62305
Design of lightning protection system
according to EN 62305

2016

Miroslav Petrakovič

Zadání bakalářské práce

Student: **Ing. Miroslav Petrakovič**
Studijní program: B2648 Projektování elektrických zařízení
Téma: **Návrh systému ochrany před bleskem LPS podle EN 62305**
Design of lightning protection system according to EN 62305

Zásady pro vypracování:

Smyslem práce je návrh vnějšího a vnitřního systému LPS pro vybraný objekt podle směrnic evropských norem EN 62305.

1. Seznamte se se základními požadavky pro návrh vnějšího a vnitřního systému LPS podle normativních dokumentů EN 62305

2. Proveďte výpočet určení rizika a následnou kategorizaci LPL pro vybraný objekt.

3. Pro určený LPL navrhnete vnější a vnitřní systém ochrany před bleskem LPS pro vybraný objekt.

The sense of this work is to design an external and internal lightning protection system for given building according to the EN 62305 standards.

1. Acquaint yourself with basic requirements for the design of external and internal lightning protection system according to the EN 62305 documents.

2. Perform risk assesment and categorization into lightning protection level for given object.

3. Design the external and internal lightning protection system LPS for the given object.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN EN 62305 - 1, ČSN EN 62305 - 2, ČSN EN 62305 - 3, ČSN EN 62305 - 4, TNI 341390

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Dudek, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015



doc. Ing. Vítězslav Stýskala, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal. Zároveň prohlašuji, že text mnou odevzdané závěrečné práce v písemné podobě i na CD nosiči je totožný s textem závěrečné práce vloženým do databáze Edison.

V Ostravě dne:

29. 4. 2016

Podpis:

Philipp Miel

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Janu Dudkovi, PhD. za vedení mé bakalářské práce a poskytnutí důležitých rad a materiálů.

Abstrakt

Tato práce se zabývá komplexním návrhem ochrany před bleskem. Chráněnou stavbou je budova chemického průmyslu se zónami 1 a 2 nebezpečí výbuchu hořlavých par. Práce vychází zejména ze čtyřdílné sady norem ČSN EN 62305.

V teoretické části je shrnuta historie poznávání jak blesku samotného, tak stručný vývoj ochrany před ním. Je zde rozebrán vznik atmosférických výbojů, jeho typy, fyzikální vlastnosti a účinky. Dále je nastíněn postup při analýze rizik, návrhu a výběru LPS a koordinovaného SPD systému.

Praktická část je tvořena čtyřmi oddíly. V prvním je detailně popsán objekt z pohledu technologií, materiálů, rozměrů a zón. Druhá část se zabývá analýzou rizik ztrát na lidských životech a ekonomických hodnot. Třetí část je návrhem jímací soustavy metodou valící se koule, svodů a uzemňovací soustavy. Poslední část se zabývá ekvipotenciálním pospojováním a návrhem přepětových ochran.

Klíčová slova

blesk, řízení rizika, LPS, LPL, SPD, nebezpečí výbuchu, ekvipotenciální pospojování, jímací soustava, bleskosvody, uzemňovací soustava

Abstract

This thesis deals with a complete design of lightning protection. The protected facility is a building of chemical industry with zones 1 and 2 of flammable vapor explosion danger. The thesis is based on four part set of standards ČSN EN 62305.

The theoretical part summarizes the history of contact of humans and lightning, as well as a brief description of protection from it. This part also analyzes the formation of atmospheric discharges, their types, physical properties and impacts. Further this part suggests the procedure of risk analysis, design and choice of lightning protection system and coordinated SPD system.

The practical part consists of four sections. The first section gives a detailed description of the facility in terms of technology, materials, dimensions and zones. Second section deals with analysis of risk of loss of human life and economic loss. Third section is a design of air-termination system by rolling sphere method, down conductors and earth-termination system. Last part deals with equipotential bonding and SPD system design.

Keywords

lightning, risk management, lightning protection system, lightning protection level, surge protective device, explosion danger, equipotential bonding, air-termination system, down conductors, earth-termination system

Obsah

ABSTRAKT	5
KLÍČOVÁ SLOVA	5
ABSTRACT	6
KEYWORDS	6
OBSAH	7
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
SEZNAM ILUSTRACÍ	12
SEZNAM TABULEK	13
SEZNAM PŘÍLOH	13
1. ÚVOD.....	14
2. TEORETICKÁ ČÁST	17
2.1. ATMOSFÉRICKÉ VÝBOJE.....	17
2.1.1. Vznik blesku	17
2.1.2. Typy blesků	18
2.1.3. Vlastnosti blesku a bleskového proudu.....	19
2.1.4. Méně známé atmosférické výboje	21
2.1.5. Účinky blesku	23
2.2. OCHRANA PŘED BLESKEM.....	24
2.2.1. Analýza rizik.....	24
2.2.2. Vnější ochrana před bleskem.....	27
2.2.3. vnitřní ochrana před bleskem	28
3. PRAKTICKÁ ČÁST	30
3.1. POPIS CHRÁNĚNÉHO OBJEKTU	30
3.1.1. Vnitřní zařízení technologické části budovy.....	30
3.1.2. Vnitřní zařízení budovy - část laboratoří.....	33
3.1.3. Okolí chráněné budovy a její střecha	36
3.2. VÝPOČET RIZIK CHRÁNĚNÉ BUDOVY	36
3.2.1. Odhad ročního počtu nebezpečných událostí.....	36
3.2.1.1. Údery do stavby a v blízkosti stavby.....	37
3.2.1.2. Údery do vedení a v jejich blízkosti	38
3.2.2. Odhad pravděpodobnosti vzniku škody.....	39
3.2.3. Odhad rozsahu ztráty L1 - na lidských životech	41
3.2.3.1. Výpočet ztráty L1 pro šatny.....	43
3.2.3.2. Výpočet ztráty L1 pro kanceláře.....	43
3.2.3.3. Výpočet ztráty L1 pro laboratoře bez nebezpečí výbuchu	43
3.2.3.4. Výpočet ztráty L1 pro zónu 2 nebezpečí výbuchu - laboratoře a výroba	43
3.2.3.5. Výpočet ztráty L1 pro zónu 1 nebezpečí výbuchu - výroba	43
3.2.4. Odhad rizika R1 - ztráty na lidských životech.....	44
3.2.5. Výpočet rizika pomocí SW Prozik.....	45
3.2.5.1. Varianta bez ochrany	46
3.2.5.2. Varianta A.....	46
3.2.5.3. Varianta B.....	47
3.2.6. Odhad rozsahu ztráty L4 - ekonomické.....	48
3.2.6.1. Výpočet ztráty L4 pro kanceláře.....	49
3.2.6.2. Výpočet ztráty L4 pro laboratoře bez nebezpečí výbuchu.....	49
3.2.6.3. Výpočet ztráty L4 pro zónu 2 nebezpečí výbuchu - laboratoře a výroba	49

3.2.6.4.	Výpočet ztráty L4 pro zónu 1 nebezpečí výbuchu - výroba	50
3.2.7.	Odhad rizika R4 - ekonomické ztráty	50
3.3.	NÁVRH VNĚJŠÍ OCHRANY PŘED BLESKEM	53
3.3.1.	Jímací soustava	53
3.3.2.	Soustava svodů	55
3.3.3.	Výpočet dostatečné vzdálenosti	56
3.3.4.	Návrh uzemňovací soustavy	59
3.3.5.	Metoda valící se koule (bleskové koule)	61
3.3.6.	Popis a soupis materiálu pro vnější ochranu před bleskem	63
3.4.	NÁVRH VNITŘNÍ OCHRANY PŘED BLESKEM	70
3.4.1.	Ekvipotenciální pospojování	70
3.4.2.	Popis a soupis materiálu pro ekvipotenciální pospojování	72
3.4.3.	Přepětové ochrany v silových rozvodech	76
3.4.3.1.	Návrh SPD 1 a SPD 2	78
3.4.3.2.	Návrh SPD 3	81
3.4.4.	Přepětové ochrany v datových a telekomunikačních rozvodech	82
3.4.5.	Popis instalace a materiálu pro SPD	84
4.	ZÁVĚR	86
	SEZNAM LITERATURY	88

Seznam použitých symbolů a zkratek

a	odpisová míra
A_D	sběrná oblast stavby [m^2]
A_I	sběrná oblast okolí vedení [m^2]
A_L	sběrná oblast vedení [m^2]
A_M	sběrná oblast okolí stavby [m^2]
C_D	činitel polohy stavby (tabulka A.1 ČSN EN 62305-2)
C_E	činitel prostředí pro vedení (tabulka A.4 ČSN EN 62305-2)
C_I	činitel instalace vedení (tabulka A.2 ČSN EN 62305-2)
C_L	náklady na celkové ztráty ve stavbě
C_{LD}	činitel závisící na podmínkách stínění, uzemnění a oddělení (tabulka B.4 ČSN EN 62305-2)
C_{LI}	činitel závislý na stínění, uzemnění a podmínkách izolování vedení (tabulka B.4 ČSN EN 62305-2)
C_P	cena ochranných opatření (celkové náklady na ochranné opatření)
C_{PM}	roční náklady na ochranné opatření
C_{RL}	celková cena zbytkových ztrát
C_T	činitel typu vedení (tabulka A.3 ČSN EN 62305-2)
f_G	mezní frekvence signálu SPD
H	výška stavby [m]
h_z	činitel zvyšující ztráty v důsledku hmotné škody, jestliže se vyskytuje ještě zvláštní nebezpečí dle tabulky C.6 (ČSN EN 62305-2)
i	úroková míra
I_{imp}	maximální proud impulzu - přípustná vrcholová hodnota sváděného impulzního proudu 10/350 μs SPD
I_L	jmenovitý proud signálu SPD
I_{max}	maximální výbojový proud, vrcholová hodnota proudu zkušebního impulzu 8/20 μs SPD
I_n	jmenovitý výbojový proud, vrcholová hodnota proudu zkušebního impulzu 8/20 μs SPD
K_{S1}	činitel zohledňující stínění na hranici LPZ 0/1
K_{S2}	činitel zohledňující stínění uvnitř stavby
K_{S3}	činitel zohledňující charakteristiky vnitřního zapojení (tabulka B.5 ČSN EN 62305-2)
K_{S4}	činitel zohledňující impulzní výdržné napětí
L	délka stavby [m]
L_A	ztráty související s úrazy živých bytostí (údery do stavby)
L_B	ztráty související s hmotnou škodou (údery do stavby)
L_C	ztráty související s poruchou vnitřních systémů (údery do stavby)

L_D	typický střední relativní počet obětí způsobených poruchou vnitřních systémů v důsledku jedné nebezpečné události dle tabulky C.2 (ČSN EN 62305-2)
LEMP	lightning electromagnetic impulse - elektromagnetický impulz vyvolaný bleskem
L_F	typický střední relativní počet obětí způsobených hmotnou škodou v důsledku jedné nebezpečné události dle tabulky C.2 (ČSN EN 62305-2)
L_L	délka sekce vedení [m]
L_M	ztráty související s poruchou vnitřních systémů (údery v blízkosti stavby)
LP	lightning protection - ochrana před bleskem
LPL	lightning protection level - hladina ochrany před bleskem
LPS	lightning protection system - systém ochrany před bleskem
LPZ	lightning protection zone - zóna ochrany před bleskem
L_T	typický střední relativní počet obětí úrazu elektrickým proudem v důsledku jedné nebezpečné události dle tabulky C.2 (ČSN EN 62305-2)
L_U	ztráty související s úrazy živých bytostí (údery do inženýrské sítě)
L_V	ztráty související s hmotnou škodou (údery do inženýrské sítě)
L_W	ztráty související s poruchou vnitřních systémů (údery do inženýrské sítě)
L_Z	ztráty související s poruchou vnitřních systémů (údery v blízkosti inženýrské sítě)
m	míra údržby
N_D	počet nebezpečných událostí pro stavbu
N_G	počet úderů blesků za rok na 1 km ²
N_I	počet nebezpečných událostí způsobených úderem v blízkosti vedení
N_L	počet nebezpečných událostí pro vedení
N_M	počet nebezpečných událostí způsobených úderem v blízkosti stavby
P_A	pravděpodobnost, že úder do stavby způsobí úraz živých bytostí
P_B	pravděpodobnost, že úder do stavby způsobí hmotnou škodu (tabulka B.2 ČSN EN 62305-2)
P_C	pravděpodobnost, že úder do stavby způsobí poruchy vnitřních systémů
P_{EB}	pravděpodobnost závislé na ekvipotenciálním pospojování (tabulka B.7 ČSN EN 62305-2)
P_{LD}	pravděpodobnost závislé na poruchách vnitřních systémů (tabulka B.8 ČSN EN 62305-2)
P_{LI}	pravděpodobnost poruchy v důsledku úderu do blízkosti připojených vedení (tabulka B.9 ČSN EN 62305-2)
P_M	pravděpodobnost, že úder do v blízkosti stavby způsobí poruchy vnitřních systémů
P_{SPD}	pravděpodobnost jako funkce bleskového proudu (tabulka B.3 ČSN EN 62305-2)
P_{TA}	pravděpodobnost nebezpečného dotykového a krokového napětí (tabulka B.1 ČSN EN 62305-2)
P_{TU}	pravděpodobnost závislé na ochranných opatřeních před dotykovým napětím (tabulka B.6 ČSN EN 62305-2)
P_U	pravděpodobnost, že úder do vedení způsobí úraz živých bytostí
P_V	pravděpodobnost, že úder do vedení způsobí hmotnou škodu

P_W	pravděpodobnost, že úder do vedení způsobí poruchy vnitřních systémů
P_Z	pravděpodobnost, že úder do v blízkosti vedení způsobí poruchy vnitřních systémů
R_A	riziko související s úrazy živých bytostí (údery do stavby)
R_B	riziko související s hmotnou škodou (údery do stavby)
R_C	riziko související s poruchou vnitřních systémů (údery do stavby)
r_f	činitel snižující ztráty v důsledku hmotné škody v závislosti na riziku požáru nebo riziku výbuchu stavby dle tabulky C.5 (ČSN EN 62305-2)
R_M	riziko související s poruchou vnitřních systémů (údery v blízkosti stavby)
r_p	činitel snižující ztráty v důsledku hmotné škody v závislosti na opatření přijatých ke snížení následků požáru dle tabulky C.4 (ČSN EN 62305-2)
R_T	přípustné riziko
r_t	činitel snižující ztráty lidských životů v závislosti na druhu půdy nebo podlahy dle tabulky C.3 (ČSN EN 62305-2)
R_U	riziko související s úrazy živých bytostí (údery do inženýrské sítě)
R_V	riziko související s hmotnou škodou (údery do inženýrské sítě)
R_W	riziko související s poruchou vnitřních systémů (údery do inženýrské sítě)
R_Z	riziko související s poruchou vnitřních systémů (údery v blízkosti inženýrské sítě)
S_M	roční úspora s ochrannými opatřeními
SPD	surge protective device - přepět'ové ochranné zařízení
SPM	surge protection measures - ochranná opatření pro vnitřní systém ochrany před LEMP
t_A	doba odezvy SPD
T_D	počet bouřkových dní za rok
U_C	maximální napětí signálu SPD
U_P	ochranná úroveň, též napět'ová ochranná hladina SPD
W	šířka stavby [m]

Seznam ilustrací

OBRÁZEK 1 - SVĚTOVÁ MAPA PRŮMĚRNÉHO POČTU ÚDERŮ BLESKŮ NA 1 km ² NA ROK [25]	17
OBRÁZEK 2 - ROZLOŽENÍ NÁBOJE V BOUŘKOVÉM OBLAKU [27]	18
OBRÁZEK 3 - TYPY BLESKŮ [25]	19
OBRÁZEK 4 - BLESKOVÝ PROUD PRVNÍHO VÝBOJE [10]	20
OBRÁZEK 5 - PODOBA A ZÁKLADNÍ PARAMETRY DLOUHÉ PROUDOVÉ VLNY [10]	20
OBRÁZEK 6 - BLESKY JAPONSKÉ SOPKY SAKURADŽIMA [28]	21
OBRÁZEK 7 - BLESKY V HORNÍ ATMOSFÉŘE [26]	22
OBRÁZEK 8 - DIAGRAM POSTUPU PRO VÝBĚR OCHRANNÝCH OPATŘENÍ A POTŘEBY	26
OBRÁZEK 9 - VNĚJŠÍ ROZMĚRY CHRÁNĚNÉ BUDOVY - JIHOZÁPADNÍ POHLED	32
OBRÁZEK 10 - PŮDORYS PRVNÍHO PODLAŽÍ CHRÁNĚNÉ BUDOVY S OZNAČENÍM MÍSTNOSTÍ	32
OBRÁZEK 11 - PŮDORYS DRUHÉHO PODLAŽÍ CHRÁNĚNÉ BUDOVY S OZNAČENÍM MÍSTNOSTÍ	34
OBRÁZEK 12 - PŮDORYS STŘECHY CHRÁNĚNÉ BUDOVY S VYZNAČENÍM VZDUCHOTECHNIKY	34
OBRÁZEK 13 - URČENÍ SBĚRNÉ PLOCHY A _D (PRO ÚDERY DO STAVBY)	37
OBRÁZEK 14 - ROZVRŽENÍ JÍMAČŮ NA STŘEŠE (MODŘE ZÓNA 2 VÝBUCHU)	54
OBRÁZEK 15 - ROZVRŽENÍ JÍMAČŮ A SVODŮ - JZ POHLED	55
OBRÁZEK 16 - ROZVRŽENÍ JÍMAČŮ A SVODŮ - SV POHLED	56
OBRÁZEK 17 - ROZMĚRY MEZI SVODY PRO VÝPOČET DOSTATEČNÉ VZDÁLENOSTI	57
OBRÁZEK 18 - VÝPOČET DOSTATEČNÉ VZDÁLENOSTI S ₁ + S ₂ POMOCÍ SW KAUCKÝ	58
OBRÁZEK 19 - ULOŽENÍ ZEMNIČE	60
OBRÁZEK 20 - MINIMÁLNÍ DÉLKA L ₁ ZEMNIČE PODLE TŘÍDY LPS REZISTIVITY PŮDY [4]	60
OBRÁZEK 21 - ZOBRAZENÍ VALÍCÍ SE BLESKOVÉ KOULE PŘES OBJEKT	61
OBRÁZEK 22 - ZOBRAZENÍ VALÍCÍ SE BLESKOVÉ KOULE PŘES OBJEKT	62
OBRÁZEK 23 - ZOBRAZENÍ VALÍCÍ SE BLESKOVÉ KOULE PŘES OBJEKT	62
OBRÁZEK 24 - UNIVERZÁLNÍ SVORKA MV [17]	63
OBRÁZEK 25 - UNIVERZÁLNÍ SVORKA MV [17]	64
OBRÁZEK 26 - JÍMAČ 4200 MM [17]	64
OBRÁZEK 27 - UPEVNĚNÍ IZOLAČNÍCH TYČÍ [17]	65
OBRÁZEK 28 - IZOLOVANÝ JÍMAČ 1000 MM [17]	66
OBRÁZEK 29 - PODPĚRA JÍMAČŮ [17]	67
OBRÁZEK 30 - PODPĚRA SOUSTAVY HORIZONTÁLNÍCH SVODŮ [17]	67
OBRÁZEK 31 - PODPĚRA SOUSTAVY HORIZONTÁLNÍCH SVODŮ [17]	68
OBRÁZEK 32 - HVI VODIČ S KONCOVKOU [17]	68
OBRÁZEK 33 - UKOTVENÍ HVI VODIČE NA STĚNU [17]	69
OBRÁZEK 34 - OBECNÉ SCHÉMA PŘIPOJENÍ TECHNOLOGIE A VODIČŮ NA EKVIPOTENCIÁLNÍ PŘÍPOJNICI [20]	72
OBRÁZEK 35 - EKVIPOTENCIÁLNÍ PŘÍPOJNICE INDUSTRIE [17]	72
OBRÁZEK 36 - KRYT NA EKVIPOTENCIÁLNÍ PŘÍPOJNICI INDUSTRIE [17]	73
OBRÁZEK 37 - UZEMŇOVACÍ OBJÍMKY 10-27 MM [17]	73
OBRÁZEK 38 - UZEMŇOVACÍ OBJÍMKY 27-168 MM [17]	74
OBRÁZEK 39 - UZEMŇOVACÍ OBJÍMKY 6-27 MM DO ZÓNY Ex [17]	74
OBRÁZEK 40 - UZEMŇOVACÍ OBJÍMKY 27-89 A 89-300 MM DO ZÓNY Ex [17]	74
OBRÁZEK 41 - UZEMŇOVACÍ NEREZOVÉ KLEŠTĚ [17]	75
OBRÁZEK 42 - ODDĚLOVACÍ JISKŘIŠTĚ EXFS 100 [18]	75
OBRÁZEK 43 - SCHÉMA ZAPOJENÍ KOORDINOVANÉ OCHRANY SPD V SÍTI TN-C-S [19]	77
OBRÁZEK 44 - ROZDĚLENÍ BLESKOVÉHO PROUDU PŘI ÚDERU DO STAVBY S VNĚJŠÍ OCHRANOU [24]	79
OBRÁZEK 45 - SPD KOMBINOVANÝ TYP 1 + TYP 2- DEHNVENTIL M TNC 255 [18]	80
OBRÁZEK 46 - SPD TYP 1 - DEHNBLOC M 1 255 [18]	80
OBRÁZEK 47 - SPD TYP 2 - DEHNGUARD M TNS 275 [18]	81
OBRÁZEK 48 - SPD TYP 3 - DEHNRail DR M 4P 255 [18]	82
OBRÁZEK 49 - SCHÉMA ZAPOJENÍ KOORDINOVANÉ OCHRANY SPD V TELEKOMUNIKAČNÍ A DATOVÉ SÍTI [21]	83
OBRÁZEK 50 - SPD PRO ADSL ŘADY BLITZDUCTOR [18]	84

Seznam tabulek

TABULKA 1 - ZÁKLADNÍ KRITÉRIA PRO OCHRANU OBJEKTŮ A INŽENÝRSKÝCH SÍTÍ [1]	24
TABULKA 2 - PŘÍČINY POŠKOZENÍ, TYPY ŠKOD A ZTRÁT PODLE MÍSTA ÚDERU BLESKU [11]	25
TABULKA 3 - ZÓNY LPZ [3]	28
TABULKA 4 - ROZPIS MÍSTNOSTÍ PRVNÍHO PODLAŽÍ CHRÁNĚNÉ BUDOVY	33
TABULKA 5 - ROZPIS MÍSTNOSTÍ DRUHÉHO PODLAŽÍ CHRÁNĚNÉ BUDOVY	35
TABULKA 6 - ZÓNY, UVAŽOVANÉ ZTRÁTY A OSTATNÍ KONSTANTY PRO VÝPOČET L1	42
TABULKA 7 - VÝSTUP RIZIK ZE SW PROZIK PRO VARIANTU BEZ OCHRANY	46
TABULKA 8 - VÝSTUP RIZIK ZE SW PROZIK PRO VARIANTU A	46
TABULKA 9 - VÝSTUP RIZIK ZE SW PROZIK PRO VARIANTU B	47
TABULKA 10 - ZÓNY, UVAŽOVANÉ ZTRÁTY A OSTATNÍ KONSTANTY PRO VÝPOČET L4	49
TABULKA 11 - VSTUPNÍ ÚDAJE PRO OCENĚNÍ NÁKLADŮ NA ZTRÁTY	52
TABULKA 12 - MAXIMÁLNÍ HODNOTY POLOMĚRU VALÍCÍ SE KOULE (ČSN 62305-3 ED.2 TAB. 2) [12]	53
TABULKA 13 - TYPICKÉ HODNOTY VZDÁLENOSTÍ MEZI SVODY PODLE TŘÍDY LPS	55
TABULKA 14 - STŘEDNÍ HODNOTY REZISTIVITY BĚŽNÝCH DRUHŮ PŮD DLE ČSN 33 2000-5-54 [29]	59
TABULKA 15 - SOUPISKA MATERIÁLU PRO VNĚJŠÍ OCHRANU PŘED BLESKEM	69
TABULKA 16 - SOUPISKA MATERIÁLU PRO EKVIPOTENCIÁLNÍ POSPOJOVÁNÍ	76
TABULKA 17 - SOUPISKA MATERIÁLU PRO SPD OCHRANU	85

Seznam příloh

VÝKRES Č. 1 - PŘÍZEMÍ PŮDORYS
VÝKRES Č. 2 - LABORATOŘE PŮDORYS - PRVNÍ PATRO
VÝKRES Č. 3 - PŮDORYS STŘECHA
VÝKRES Č. 4 - BUDOVA - SEVERNÍ POHLED
VÝKRES Č. 5 - BUDOVA - JIŽNÍ POHLED
VÝKRES Č. 6 - BUDOVA - ZÁPADNÍ POHLED
VÝKRES Č. 7 - BUDOVA - VÝCHODNÍ POHLED
VÝKRES Č. 8 - ZÁKLADY - ULOŽENÍ ZEMNIČE
VÝKRES Č. 9 - STŘECHA - SOUSTAVA SVODŮ A JÍMAČŮ
VÝKRES Č. 10 - SVODY A JÍMAČE - SEVERNÍ POHLED
VÝKRES Č. 11 - SVODY A JÍMAČE - JIŽNÍ POHLED
VÝKRES Č. 12 - SVODY A JÍMAČE - VÝCHODNÍ POHLED
VÝKRES Č. 13 - SVODY A JÍMAČE - ZÁPADNÍ POHLED
VÝKRES Č. 14 - SCHÉMA ZAPOJENÍ - VARIANTA B
VÝKRES Č. 15 - SCHÉMA ZAPOJENÍ - VARIANTA A
PŘÍLOHA 1 - 3D POHLEDY BLESKOVÉ KOULE A BUDOVY (12 STRAN)
PŘÍLOHA 2 - REPORT ZE SOFTWARE PROZIK - VARIANTA A (7 STRAN)
PŘÍLOHA 3 - REPORT ZE SOFTWARE PROZIK - VARIANTA B (7 STRAN)
PŘÍLOHA 4 - REPORT ZE SOFTWARE PROZIK - VARIANTA C - NECHRÁNĚNÁ STAVBA (7 STRAN)
PŘÍLOHA 5 - ODPOVĚĎ NA DOTAZ OHLEDNĚ PŘEPĚŤOVÝCH OCHRAN - DEHN (1 STRANA)
PŘÍLOHA 6 - ODPOVĚĎ NA DOTAZ OHLEDNĚ PŘEPĚŤOVÝCH OCHRAN - OEZ (1 STRANA)
PŘÍLOHA 7 - ODPOVĚĎ NA DOTAZ OHLEDNĚ PŘEPĚŤOVÝCH OCHRAN - SALTEK (1 STRANA)
PŘÍLOHA 8 - PROTOKOL O URČENÍ VNĚJŠÍCH VLIVŮ A PROSTŘEDÍ (18 STRAN)

1. Úvod

Počátky vědeckého pojetí ochrany před bleskem sahají asi do 17. století našeho letopočtu. Před touto dobou byla ochrana před bleskem vedena snahou vzepřít se nepřízni osudu a uchránit si pracně vybudované obydlí, zpočátku před božím hněvem, a poté před nepřízní přírody. Jako jeden z mnoha případů může sloužit stavba židovského Šalamounova chrámu na Chrámové hoře někdy v letech 960 až 950 před naším letopočtem. Jeho střechy byly pokryty zlatými deskami pro svod dešťové vody do velkého množství kovových potrubí, které jí sváděly do zásobních cisteren. I když se tento chrám nacházel ve velmi exponovaném místě, co se blesků týká, tak po dobu jeho existence, asi 400 let, na něm nebyly zaznamenány žádné škody způsobené bleskem.

Až v 17. století, kdy byl blesk z božího hněvu deklasován na elektrický jev a následně po půl století později, kdy anglický fyzik Stephen Gray jako první rozlišil vodivé materiály od nevodivých, to v podstatě vše konečně začalo a netrvalo dlouho, aby byly realizovány první hromosvody na základě fyzikálních principů blesku.

Za průkopníky ve studiu blesků a ochrany proti nim lze považovat Američana Benjamina Franklina a Čecha Prokopa Diviše. Oba přišli s nápadem hromosvodu/bleskosvodu nezávisle na sobě, přibližně ve stejné době.

Benjamin Franklin se narodil 17. ledna 1706 v Bostonu jako patnácté ze sedmnácti dětí (osmé dítě z druhého manželství). Josiaha Franklina, který se v roce 1863 s celou rodinou vystěhoval z Anglie do Ameriky. Tento americký přírodovědec-samouk, osvícený myslitel, spisovatel, významný americký diplomat a politik, přední bojovník proti otrokářství a za americkou nezávislost, se ve svých čtyřiceti letech začal, také díky určitému finančnímu zabezpečení, zajímat o studium v té době záhadných elektrických jevů. Kromě jeho pokusů se statickou elektřinou a elektrickým nábojem vysvětlil činnost leidské láhve (první záměrně konstruovaný kondenzátor, který především v 18. století sloužil jako zásobník elektrického náboje při experimentech s elektřinou), konstruoval je pro různé objemy od jednoho do třiceti litrů, podle potřeby je různě spojoval v baterie a sestavil první deskový kondenzátor (skleněnou desku opatřil po obou stranách staniolovými polepy). V dopisech Peteru Collinsonovi, členu Královské společnosti nauk v Londýně, popsal sání a sršení elektřiny mezi kovovými hroty. Velmi brzy si Franklin uvědomil, že experiment s odsáváním elektrického náboje z elektricky nabitého tělesa pomocí kovového hrotu by bylo možno uskutečnit ve velkém měřítku a v r. 1749 připadl na myšlenku ochrany před bleskem, když vyslovil předpoklad, že blesk a elektrická jiskra mají stejnou podstatu, z pozorování účinků blesků s účinky elektrických výbojů z leidské láhve. Dále Collinsonovi sděloval, že má v úmyslu umístit na vysoké věži nebo zvonici ve Filadelfii vysokou zahrocenou železnou tyč a pomocí ní získávat elektrický náboj při průchodu bouřkových mraků. Zároveň vyslovil opět myšlenku, že by bylo možné chránit domy a lodě pomocí vysokých kovových tyčí vodivě spojených se zemí nebo s vodou. V roce 1752 provedl se svým synem Williamem jeho legendární pokus s drakem a vodivou konopnou šňůrou ukončenou kovovým klíčem. Jen díky velkému odporu konopného vlákna tehdy nedošlo k neštěstí. Franklin získal za svůj život

velké množství ocenění a uznání. V červnu 1753 mu udělila Harvardská univerzita doktorský titul, v září téhož roku univerzita v Yale, zanedlouho univerzita ve Virginii, v r. 1759 edinburská univerzita a v r. 1762 univerzita v Oxfordu. V listopadu 1753 ho poprvé vyznamenala londýnská Royal Society zlatou medailí za zvláštní pokusy a pozorování v oboru elektřiny. Benjamin Franklin zemřel 17. dubna 1790 ve Filadelfii. [7]

Prokop Diviš se narodil 26. března 1698 jako Václav Divíšek v Helvíkovicích u Žamberku. V roce 1720 složil řeholní slib a přijal jméno Prokop Diviš. V klášteře v Louce u Znojma se intenzivně zajímal o výzkum elektrických jevů a svými kněžskými kolegy byl považován za šarlatána, protože se věnoval experimentální práci, a to bylo dosud zcela neobvyklé. Podle historiků byl tento hluboký zájem možným důvodem jeho odchodu do Přímětic u Znojma. V Příměticích usilovně studoval elektrické jevy, experimentoval, sestrojil si například třecí elektriku ze skleněné koule a leidenské láhve a identifikoval podstatu blesku a hromu. O jeho pokusech se doslechl i císařský dvůr a Diviš byl v roce 1750 odměněn císařským párem zlatými medailemi. V roce 1754 sestrojil slavný bleskosvod. Jeho bleskosvod, nebo povětrnostní mašina, jak stroj nazval, byl konstruován jako horizontální kříž ze železných tyčí. Ramena kříže byla překřížena dalšími kratšími tyčemi, vznikl tak prostor pro upevnění dvanácti kovových krabic. Tyto krabice měly na sobě krátké ostré kovové hroty, které dosedaly na dna. Pro lepší vodivost byl vnitřek krabic vyplněn železnými pilinami. Tím byla vytvořena velká vodivá plocha. Na úplném vrcholu hlavní nosné tyče byla ještě třináctá krabice, volně otáčivá ve větru, která měla plašit ptáky. Celá konstrukce byla asi 13 metrů vysoká a byla upevněna třemi železnými tyčemi, jejichž konce byly hluboko zakopány do země. Druhý hromosvod postavil Diviš na věži kostela v Příměticích v roce 1761. V Příměticích zůstal s malou přestávkou až do smrti. Právě zde vytvořil všechny svoje objevy a napsal svoje spisy. Prokop Diviš zemřel 21. prosince 1765 a byl pochován s ostatními premonstrátskými mnichy v klášteře v Louce. [8]

Jak podle Divišových, tak i podle původních Franklinových představ mělo zařízení bleskosvodu čistě preventivní úlohu, tzn. tiše odvést elektrický náboj z mraků do země dříve, než by došlo k úderu blesku. Teprve v roce 1753 dochází Franklin k jinému pojetí, když předpokládá, že bleskosvod bude jednak předcházet úderu blesku a jednak bude svádět blesk do země. Franklin tudíž, na rozdíl od Divíše, klade důraz na ochrannou funkci bleskosvodu před jeho preventivním působením. Oba pracovali na svém objevu od počátku druhé poloviny 18. století. Franklin začal se svými pokusy asi o něco dříve, ale Diviš na druhou stranu postavil první uzemněný bleskosvod.

První předpisy pro ochranu před bleskem sepsal Johann Heinrich Albert Reimarus v roce 1769 a v roce 1796 vydal první předpisy pro stavbu a montáž bleskosvodů. V roce 1778 zveřejnil filozof a experimentální fyzik Georg Christoph Lichtenberg svou publikaci „Pravidla chování při blízké bouřce“. V ní doporučoval jímací tyče ze železa nebo mědi s pozlacenými jímacími špičkami se svody, které mají být vedeny do země, co nejbližší k úrovni hladiny spodní vody nebo do blízkosti nějakého vodního zdroje.

Dalšími českými vědci zabývající se bleskem byli například Joseph Stepling, který na rozdíl od Prokopa Divíše zastával názor, že nejlepší ochrana před bleskem bude spočívat v jednorázovém

odvedení výboje do země. V roce 1778 vypracoval návod k výstavbě hromosvodu ve městě Polička, tento lze považovat za první elektrotechnický posudek u nás.

V Německu byly v roce 1885 díky Svazu německých elektrotechniků vydány první Stanovy pro ochranu budov před bleskem. Firma General Electric organizovala dlouhodobé pozorování zásahů blesků do výškové stavby Empire State Building. V Československu se v oboru atmosférické elektřiny nejvíce proslavil František Běhounek, který v roce 1936 vydal první československou studii s názvem Atmosférická elektřina.

Jedna z nejdůležitějších norem, která byla více než 50 let hlavním zdrojem informací pro projektování a stavbu soustav vnější ochrany před bleskem byla vydána v roce 1955 pod označením ČSN 34 1390 - Předpisy pro ochranu před bleskem. Tato norma byla zásadně novelizována v roce 1969 a do jejího zániku 1. 2. 2009 doznala ještě řadu změn. Ovšem tato norma se zabývala jen vnější ochranou před bleskem, což mohlo být dostatečné tak do konce 90. let minulého století. Po následném pádu totalitních vlád v postkomunistických zemích, včetně tehdejší Československé republiky, a otevření trhu se západem, výrazně stoupl počet, na přepětí citlivých, spotřebičů v našich domácnostech. Také následný prudký rozvoj mikroelektroniky a počítačových systémů si žádal nějaké normy ohledně ochrany před přepětím. Proto byly v letech 2003-2004 vydány překlady mezinárodních norem řady IEC 61312 z roku 1995. Jednalo se o ČSN IEC 61312-3 - Ochrana před elektromagnetickým impulzem vyvolaným bleskem - Část 3: Požadavky na přepětíová ochranná zařízení (SPD) - vydanou v roce 2003 a ČSN P IEC/TS 61312-2 - Ochrana před elektromagnetickým impulzem vyvolaným bleskem - Část 2: Stínění staveb, pospojování uvnitř staveb a uzemňování - vydanou v roce 2004. Oba dva tyto překlady mezinárodních norem skončily svou platnost současně s ČSN 34 1390 1. 2. 2009.

V roce 2006 byla do češtiny přeložena řada mezinárodních norem IEC 62305 zabývajících se ve čtyřech částech komplexní problematikou blesků. Naším normalizačním institutem vydána pod označením ČSN EN 62305-1 až 62305-4. Tato řada byla novelizována v roce 2010 na edici 2. V naší zemi se dočkala překladu roku 2014 jako:

ČSN EN 62305-1 ed. 2	Ochrana před bleskem - Část 1: Obecné principy
ČSN EN 62305-2 ed. 2	Ochrana před bleskem - Část 2: Řízení rizika
ČSN EN 62305-3 ed. 2	Ochrana před bleskem - Část 3: Hmotné škody na stavbách a ohrožení života
ČSN EN 62305-4 ed. 2	Ochrana před bleskem - Část 4: Elektrické a elektronické systémy ve stavbách

Z těchto, momentálně aktuálních norem, čerpám také částečně v teoretické části, ale hlavně v praktické části této práce.

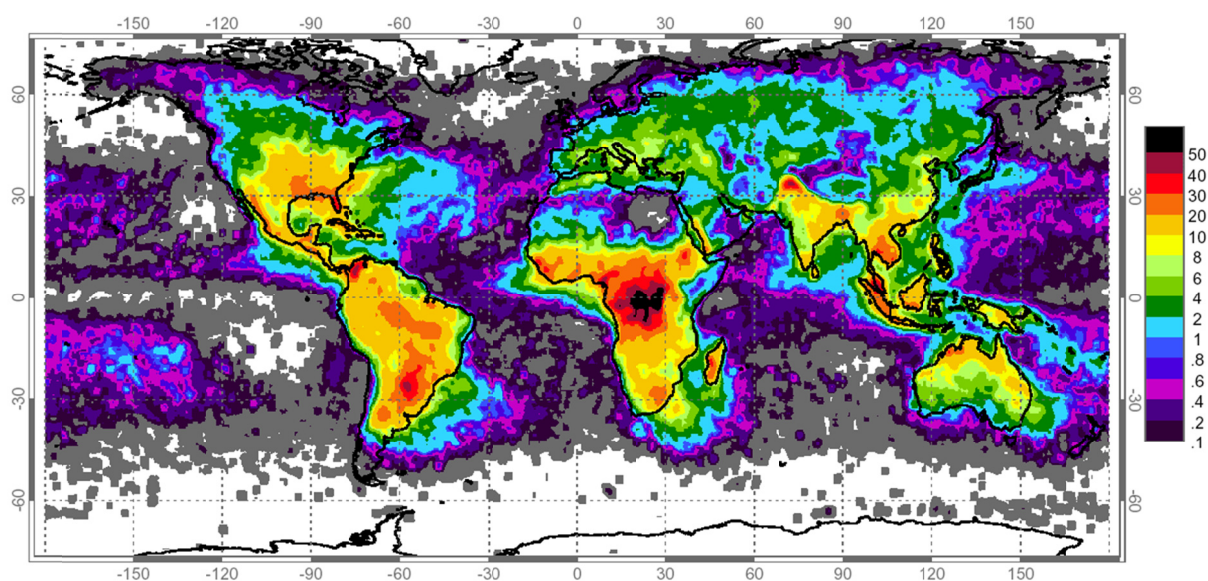
2. Teoretická část

2.1. Atmosférické výboje

Blesk je silný přírodní elektrostatický výboj. Je to neklasičtější ukázka plazmatu. Plazma je čtvrté skupenství hmoty, je to částečně ionizovaný plyn složený z volných iontů plynů a elektronů, které vznikly odtržením valenčních elektronů z atomů plynů, na elektrická a magnetická pole reaguje jako celek a na venek se chová neutrálně - stejný počet nosičů kladného a záporného náboje. Jakkoli je plazma nejrozšířenějším formou látky ve vesmíru - tvoří 99 % pozorované hmoty - všechny hvězdy, mlhoviny. Na Zemi je to zase ojedinělý případ existence hmoty. V přírodě je přítomna např. v ionosféře a vodivém kanálu blesku. Blesková aktivita se vyskytuje také na jiných planetách Sluneční soustavy - Venuši, Saturnu, Jupiteru.

2.1.1. Vznik blesku

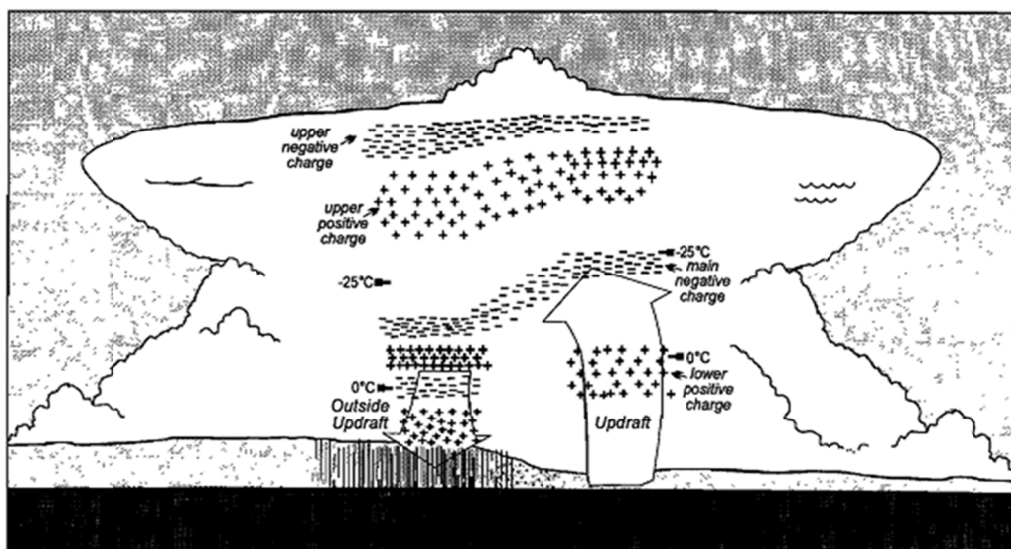
Bleskové výboje se tvoří v bouřkových mracích, které vznikají vesměs nad pevninou, protože ke svému vzniku potřebují zdroj teplého stoupajícího vzduchu z vyhřáté země, viz Obrázek 1. Z tohoto obrázku je také patrné, že Česká Republika a vůbec celá střední Evropa na tom s počty blesků za rok není vůbec špatně. Každou sekundu udeří na Zemi asi 100 blesků.



Obrázek 1 - Světová mapa průměrného počtu úderů blesků na 1 km² na rok [25]

Bouřkový mrak, jehož typickým představitelem je Cumulonimbus, vzniká vzestupným prouděním vlhkého a teplého vzduchu s opačným prouděním studeného vzduchu. Dosahuje výšky 6-10 kilometrů, v tropech až 20 kilometrů. Jeho spodní hranice nad zemí je 500 až 1000 metrů. Obsahuje směs nejrůznějších vodních a ledových částíček, podle toho, o jakou výšku mraku se jedná. K těmto

částec se přilepují elektrické náboje, které jsou přítomny v atmosféře, jednak díky kosmickému záření a jednak díky radonu unikajícímu z půdy, tímto vznikají různě nabitě vodní a ledové částice. Některé tyto částice padají vlivem gravitace dolů a jiné stoupají vlivem proudění vzduchu nahoru, které si při vzájemných srážkách předávají energii i část náboje. V bouřkovém mraku vznikne několik center nábojů, viz Obrázek 2.



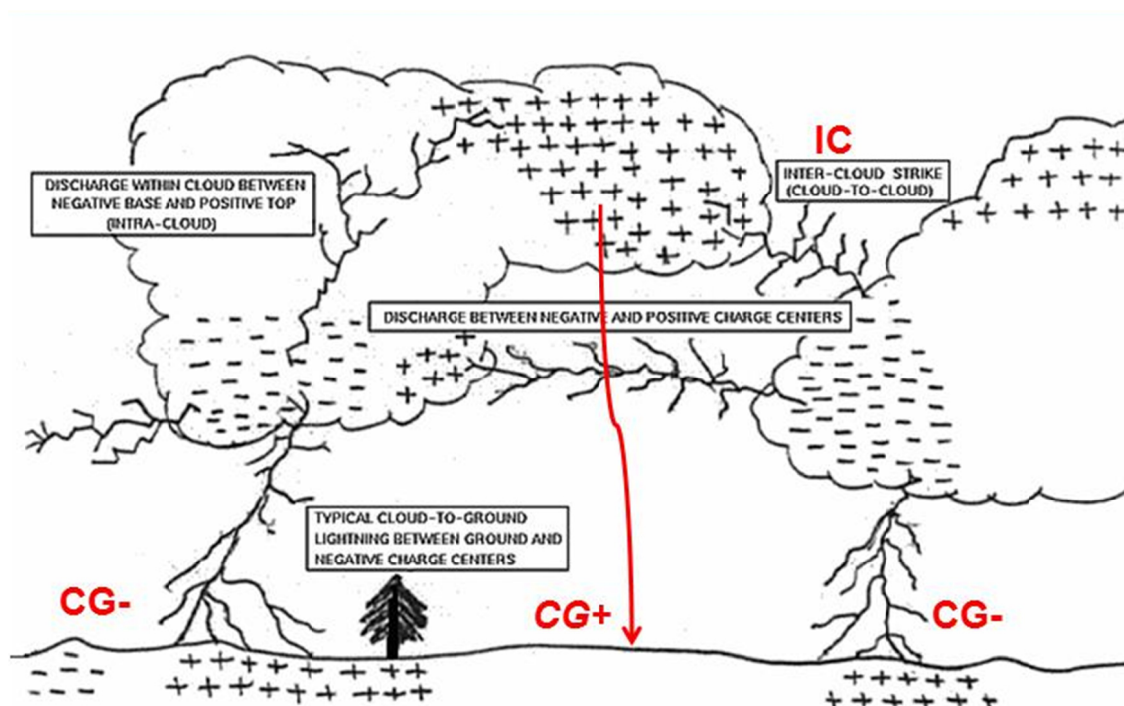
Obrázek 2 - Rozložení náboje v bouřkovém oblaku [27]

Vytvoření těchto nábojů ale ještě nestačí pro vznik blesku, protože napětí mezi mrakem a zemí je sice vysoké, ale přesto je asi 10 x menší, než je průrazné napětí vzduchu. K tomu pravděpodobně přispívají rychlé elektrony vznikající při interakci kosmického záření s atmosférou, které jsou dále urychlovány elektrickým polem bouřkového oblaku. Tímto ionizují prostředí a účinně zvyšují průrazné napětí. Druhým katalyzátorem vzniku bleskových výbojů je fakt, že nabitě kroupy v bouřkovém oblaku nejsou ideálně kulaté, ale obsahují různé hroty, na kterých se lokálně zvyšuje elektrické pole a může tam dojít ke korónovému výboji. Následně vzniká eliminační výboj, který se dostane až ke dnu oblaku a začne se šířit jako tzv. vůdčí výboj směrem k zemi po asi 50 metrových skocích s prodlevami 50 μ s mezi nimi. Ionizuje cestu k zemi a vyhledává si tu nejvíce vodivou. Ve vzdálenosti několika desítek metrů od povrchu dochází v místech s vyšším gradientem intenzity elektrického pole k překročení kritické hodnoty elektrické pevnosti vzduchu a z povrchu země začne postupovat opačným směrem vstřícný výboj. Po jeho spojení s kanálem blesku vznikne celistvá vodivá dráha, po níž putuje rychlostí blízkou rychlosti světla vstřícný výboj dále vzhůru. Vytváří se vodivý ionizovaný kanál, který se postupně rozvíjí v hlavní bleskový kanál.

2.1.2. Typy blesků

Vzniklý výboj v bouřkovém mraku může cestovat různými směry, viz Obrázek 3. Buď to může cestovat rovnou k zemi, což jsou nejběžnější blesky, tzv. záporné oblak-země (CG-), které tvoří

90 - 95 % blesků dopadajících na zemi. Pocházejí ze spodní části oblaku a jsou většinou rozvětvené. Pak jsou to vnitro oblakové blesky, které se jeví jako nevýrazné světélkování v bouřkovém oblaku. Pak může výboj cestovat vodorovně mezi oblaky (IC), které mohou být i mnoho kilometrů dlouhé. A nakonec se jedná o nejvzácnější blesky (CG+), vycházející z kladného nábojového centra. Vznikají tak, že se kladné horní centrum odkloní nad zbytkem oblaku a uvolní si přímou cestu k zemi. Téměř se nevětví a jejich bleskový proud bývá velmi vysoký. Někdy se vršek tohoto oblaku vyvýšce 10 km nahne až nad oblast bez bouřky, tzv. „blesk z čistého nebe“. S tímto typem blesku jsou spojeny nadoblačné jevy, které budou popsány dále.



Obrázek 3 - Typy blesků [25]

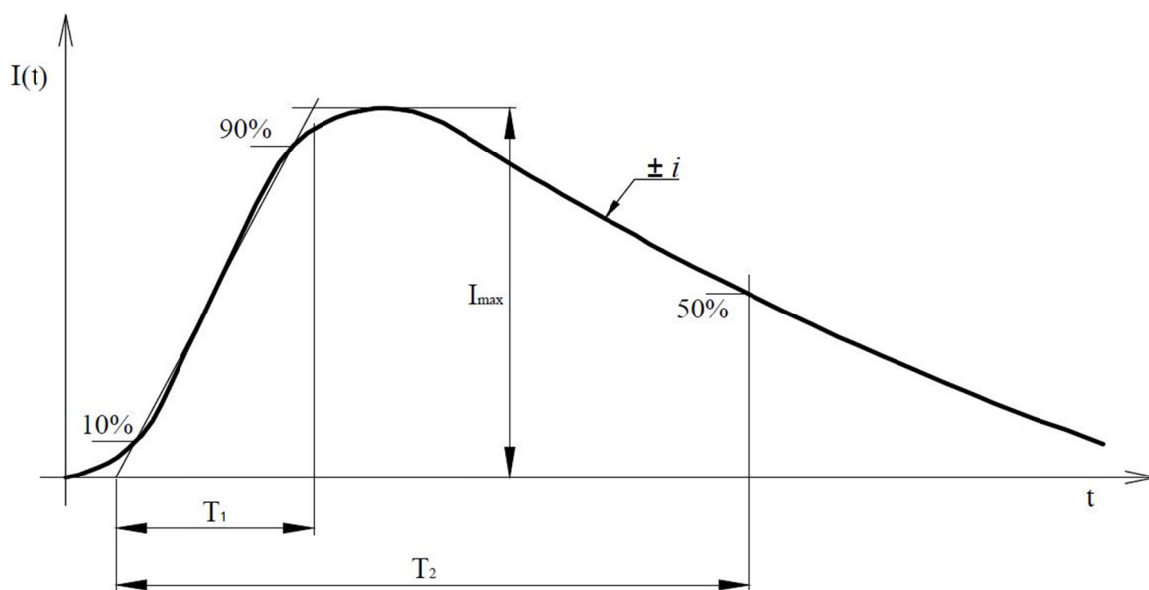
2.1.3. Vlastnosti blesku a bleskového proudu

Blesk představuje vodivý kanál o průměru asi 5 cm, v němž dochází k extrémnímu nárůstu proudové hustoty a tedy i teploty, která dosahuje až 30 000 K, to je pětinašobek teploty Slunečního povrchu. Potenciálový spád v kanálu je asi 100 V na jeden metr délky, potenciálový rozdíl v mraku je až 100 MV. Průměrný přemístěný náboj jednoho blesku je 10 C, uvolněná energie asi 500 MJ, což není vůbec mnoho, nejvyšší okamžitý výkon až 1 TW, ale to jen v krátkém okamžiku. V bleskovém kanálu je vzduch stlačen magnetickým polem na 5 atm, který se následně rozpíná a vzniká nadzvuková rázová vlna - hrom.

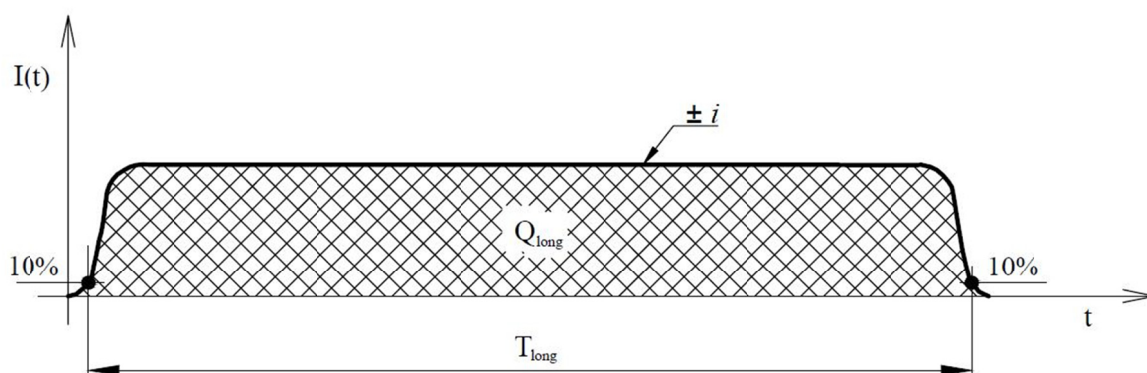
Plazmatický kanál umožňuje opakovaný průchod výbojů, vybíjejících ostatní nabitě části bouřkového mraku. Většinou se tak děje dvakrát nebo třikrát, ale jsou i blesky, ve kterých počet

opakovaných výbojů překročil dvě desítky. Jeden výboj trvá několik milisekund, a to je příliš krátce na to, aby lidské oko postřehlo jeho strukturu. Doba mezi opakovanými záblesky je 30 až 50 milisekund. Lidskému oku se proto zdá, že se bleskový kanál jakoby mihotá. Plazma se vytváří znovu a znovu a jeho vznik se střídá s temnými mezipauzami. Toto je typické pro záporné blesky, kladné mají zpravidla jen jeden výboj.

Průběh prvního bleskového výboje má tvar vlny 10/350 μs a následného záporného výboje 0.25/100 μs , viz Obrázek 4. Nebo může následovat dlouhá proudová vlna, viz Obrázek 5.



Obrázek 4 - Bleskový proud prvního výboje [10]



Obrázek 5 - Podoba a základní parametry dlouhé proudové vlny [10]

2.1.4. Méně známé atmosférické výboje

Sopečné blesky vznikající v sopečném prachu. Mechanismus je podobný jako v bouřkovém oblaku, ale místo ledu se třením o sebe nabíjejí kousičky vulkanického prachu, který má, podobně jako ledové části, různé hroty na kterých se lokálně zvyšuje elektrické pole a může tam dojít ke korónovému výboji. Jedná se pak o vybíjení nabitého prachu sopky, vznikají jiskry délky desítek, maximálně stovek metrů, viz Obrázek 6.



Obrázek 6 - blesky japonské sopky Sakuradžima [28]

Dalším typem blesku, který se vyskytuje za bouřky, ale neobjevuje se příliš často, je kulový blesk. Na několik tisíc klasických blesků připadá jeden kulový blesk. Podle doložených svědectví mají kulové blesky velikost od několika centimetrů až po rozměr většího míče. Vzhledem k době životnosti kulového blesku se nemůže jednat o klasická plazma. K nejnadějnějším hypotézám patří především různé formy elektrostatického nebo vysokofrekvenčního elektromagnetického výboje, například mikrovln generovaných v bouřkové oblasti. Viditelnou částí je plazmatická koule izolovaná nějakým způsobem od okolí. V současnosti je nejpopulárnější variantou kulového blesku tzv. křemíkový blesk. Při úderu normálního blesku do půdy se prudce zahřeje místo dopadu a z křemičitanů a oxidu křemičitého vzniknou nanočástice čistého křemíku Si, monooxidu křemíku SiO a karbidu křemíku SiC. Nanočástice mají elektrický náboj a ten způsobí jejich řetězení do vláknité sítě. Vznikne útvar podobný chomáči vaty, jehož část je z půdy vytlačena nad povrch, kde dochází k postupné oxidaci, při níž se uvolňuje značné množství energie v podobě světla a tepla. Oxidace jak Si tak SiO je bouřlivou reakcí, při které vznikají stabilní molekuly oxidu křemičitého SiO₂. Ten vytvoří na povrchu vatovité struktury jakousi slupku, jež brání další prudké oxidaci. Útvar tak pomalu doutná uvnitř a na povrchu je relativně chladný. Většinou zaujme kulový tvar, který má nejmenší možnou energii. Může se pohybovat vodorovně, neboť je jeho hustota srovnatelná s hustotou vzduchu. Chomáč si v nitru

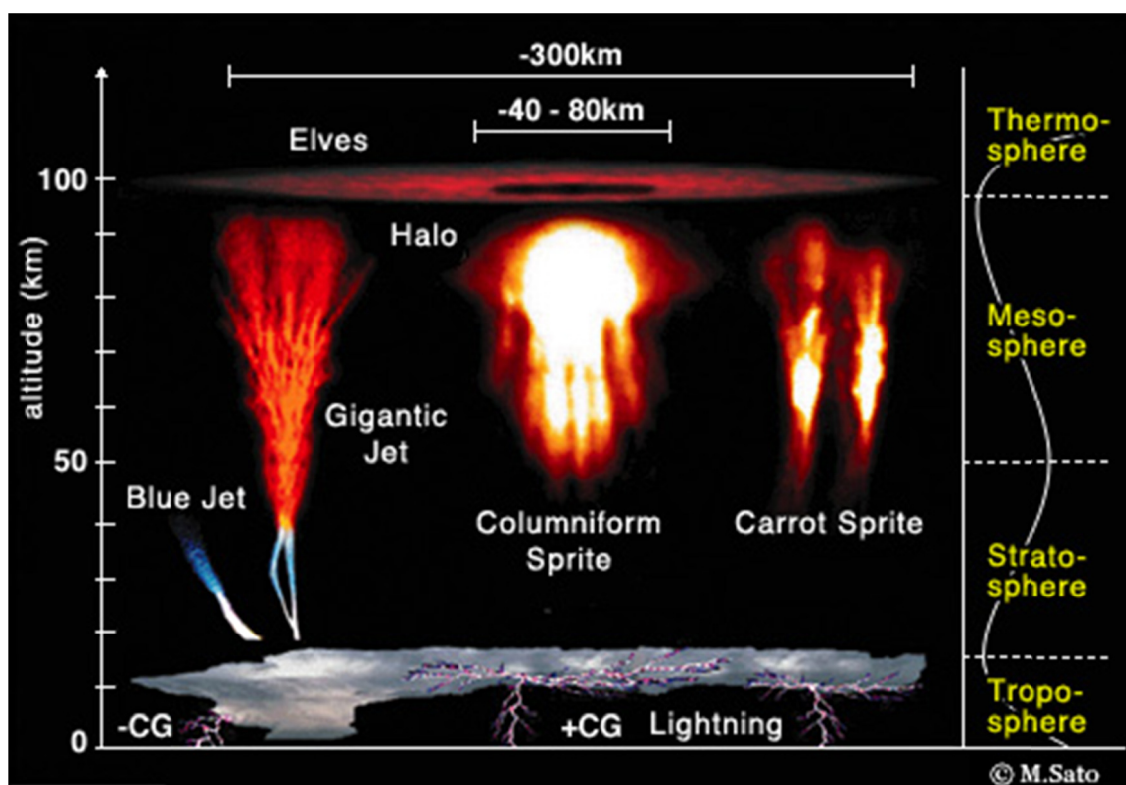
udržuje vysokou teplotu a může postupně vyhasnout. Pokud vnitřní teplota stoupne nad určitou mez, kulovitá struktura zakončí svůj život explozivně.

K dalším výbojům dochází v prostoru mezi oblakem a ionosférou. Zde nehovoříme o blescích, protože nemají horký vodivý kanál, jde o chladný výboj příbuzný doutnavému výboji probíhajícímu v zářivce. Proto hovoříme o nadoblačných výbojích, viz Obrázek 7.

K nejčastějším nadoblačným výbojům patří červené přízraky. Červené přízraky se objevují vysoko nad bouřkovou oblastí, od 50 kilometrů až k ionosféře (80 km). Objevují se na několik milisekund po úderu čarového blesku kladné polarity. Typická červenooranžová barva je způsobena fotony vyzařovanými při přechodech elektronů v molekulách dusíku.

Existují i další vodorovné kruhové útvary, tzv. elfové. Tyto kruhy jsou méně svítivé, vyskytují se ve větších výškách (90 až 100 kilometrů) a mají větší průměr – kolem 400 kilometrů. Jsou doprovázeny nízkofrekvenčními elektromagnetickými vlnami.

Dalším typem nadoblačných výbojů jsou modré výtrysky. Jde o výboje objevující se nad bouřkovými oblaky, kde se někdy objeví zářící kužel postupující od horní části oblaku směrem k ionosféře. Výboje probíhají přibližně ve výškách od 15 kilometrů do 50 kilometrů. Typicky modrá barva výtrysků je, obdobně jako u červených přízraků, způsobena zářivými přechody v molekulách dusíku – u modré barvy jde o vyšší excitace než u červené.



Obrázek 7 - Blesky v horní atmosféře [26]

2.1.5. Účinky blesku

Ačkoliv blesky obsahují jen relativně nízkou energii, v průměru několik desítek kWh, mohou při úderu v délce trvání 1 ms vznikat v zařízeních velmi vysoká napětí a protékat bleskové proudy o hodnotě vyšší než 200 kA. Při úderu blesku do objektu může dojít k celé řadě škod – požár (vznícení), mechanická destrukce stavebních částí průraz elektrických izolací, roztavení tenkých vodičů. Tyto škody jsou způsobeny těmito účinky bleskového proudu:

Tepelné účinky – vznikají průchodem proudu vodiči a jsou dány jejich průřezem, elektrickým odporem a vrcholovou hodnotou proudu, může nastat vznícení materiálu, se kterými se dostal proud do přímého či nepřímého kontaktu.

Mechanické účinky – závisí na vrcholové hodnotě a době trvání průchodu proudu a na pevnostních charakteristikách mechanické konstrukce objektu, příkladem může být destrukce vlhkého zdiva či krovu, při průchodu bleskového proudu dojde k prudkému zahřátí a následnému vývinu páry, která doslova exploduje a svým tlakem způsobí destrukci materiálu.

Elektrodynamické účinky – jsou způsobeny elektrodynamickými silami vznikajícími mezi vodiči v souběhu nebo vzájemném přiblížení, výsledkem jsou uvolněné svorky, vytržené držáky či vedení.

Elektromagnetické účinky – vznikají při průchodu bleskového proudu hromosvodní soustavou, tento vyvolá magnetické pole kolem vodičů, změna velikosti proudu způsobí změnu magnetického pole a ve smyčce se indukuje napětí. Toto indukované napětí je úměrné vzdálenosti od proudové cesty a velikosti smyčky.

Jiskření – bleskový proud procházející stočenou drahou uvnitř smyčky a indukované napětí překročí průrazné napětí. Jiskření jsou nebezpečná hlavně v hořlavých prostředích a prostředích s nebezpečím výbuchu.

2.2. Ochrana před bleskem

Tabulka 1 - Základní kritéria pro ochranu objektů a inženýrských sítí [1]

Ochranná úroveň (LPL)	Maximální hodnoty kritéria pro dimenzování		Minimální hodnoty kritéria pro svedení blesk. proudu	
	maximální vrcholová hodnota blesk. proudu	pravděpodobnost, že skutečný blesk. proud je menší, než max. vrcholová hodnota blesk. proudu	minimální vrcholová hodnota blesk. proudu	pravděpodobnost, že skutečný blesk. proud je větší, než minimální hodnota blesk. proudu
I	200 kA	99%	3 kA	99%
II	150 kA	98%	5 kA	97%
III	100 kA	97%	10 kA	91%
IV	100 kA	97%	16k A	84%

2.2.1. Analýza rizik

Pro kvalifikované posouzení potřeby a rozsahu provedení ochranných opatření na uvažované stavbě musíme provést důkladnou analýzu možných rizik. Cílem managementu rizika je snížit riziko vzniklé úderem blesku do objektu na hodnotu přípustného rizika. Pro snížení těchto rizik jsou provedena účinná ochranná opatření.

Výboj blesku může způsobit škody v závislosti na vlastnostech chráněné stavby. Pro praktická použití těchto ocenění rizika je vhodné rozdělení do tří základních typů škod, které mohou nastat:

- D1 – úraz živých bytostí elektrickým proudem
- D2 – hmotná škoda
- D3 – porucha elektrických a elektronických systémů

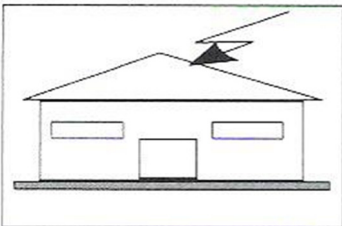
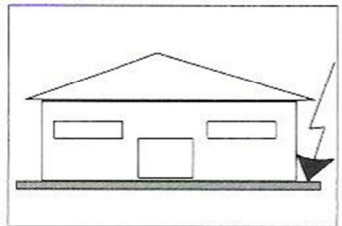
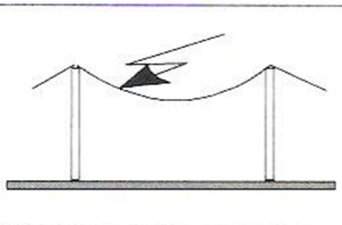
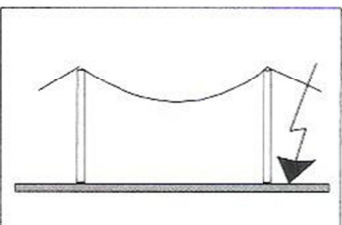
Každý typ škody, může vyvolat různé následné ztráty v chráněném objektu:

- L1 – ztráty na lidských životech
- L2 – ztráty na veřejných službách
- L3 – ztráty na kulturním dědictví
- L4 – ztráty ekonomické hodnoty

Bleskový proud je hlavní příčinou poškození objektu a připojení inženýrských sítí. Rozsah a povaha poškození se odvíjí od místa úderu blesku vůči stavbě, což objasňuje Tabulka 2 - Příčiny poškození, typy škod a ztrát podle místa úderu blesku. Mohou nastat tyto varianty dle místa úderu:

- S1 – úder do stavby
- S2 – úder v blízkosti stavby
- S3 – úder do sítí připojených ke stavbě
- S4 – úder v blízkosti sítí připojených ke stavbě

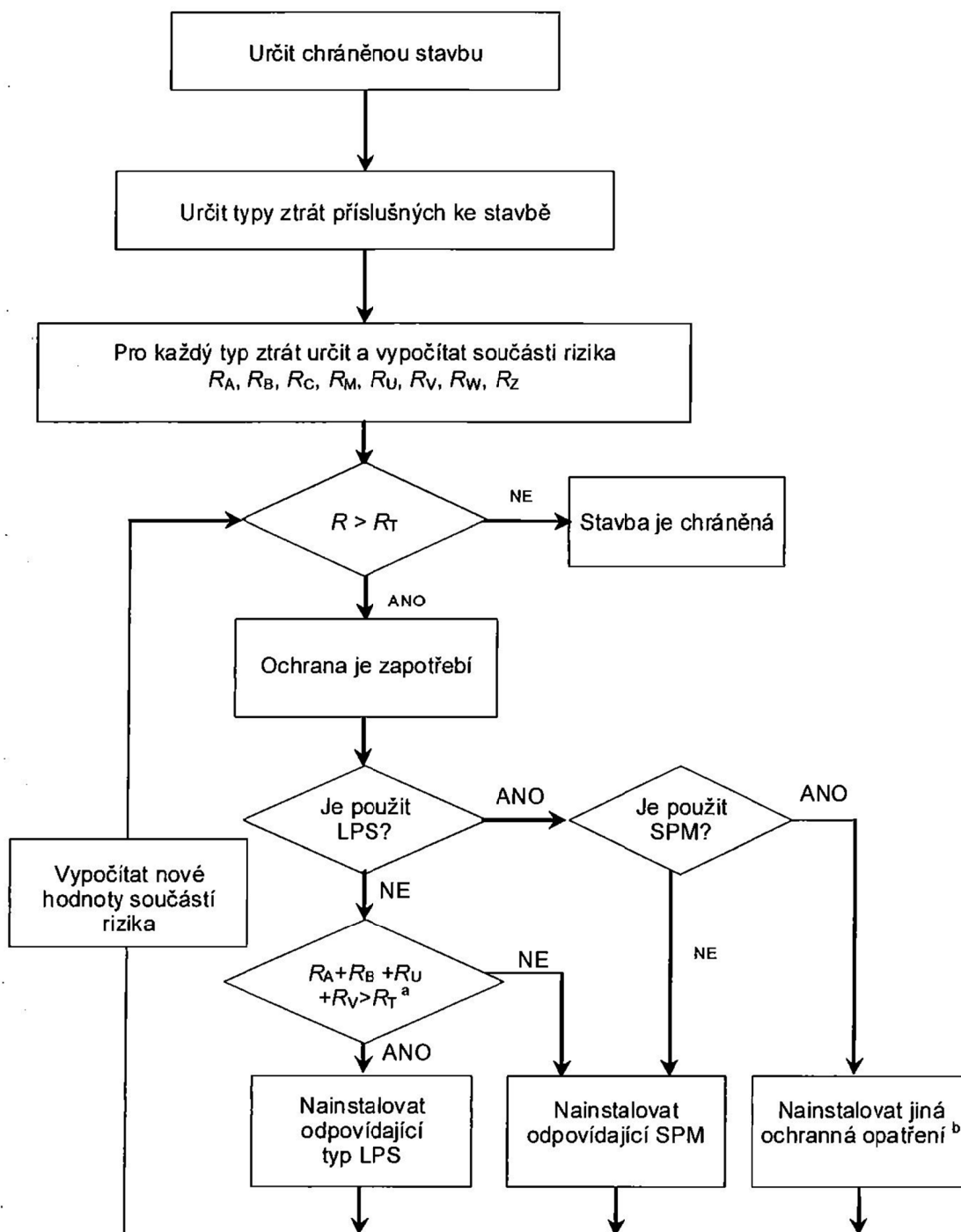
Tabulka 2 - Příčiny poškození, typy škod a ztrát podle místa úderu blesku [11]

Úder blesku		Stavba	
Místo úderu	Příčina poškození	Typ škody	Typ ztráty
	S1	D1 D2 D3	L1, L4 L1, L2, L3, L4 L1, L2, L4
	S2	D3	L1, L2, L4
	S3	D1 D2 D3	L1, L4 L1, L2, L3, L4 L1, L2, L4
	S4	D3	L1, L2, L4

Riziko R je poměrná hodnota pravděpodobných průměrných ročních ztrát. Aby byla oceněna rizika R, musí být definovány a vypočítány odpovídající součásti rizika. Každé riziko je součtem jeho součástí rizika. Při výpočtu rizika mohou být součásti rizika seskupeny podle příčiny, poškození a typu škody:

- R1 – riziko ztrát na lidských životech
- R2 – riziko ztrát na veřejných službách
- R3 – riziko ztrát na kulturním dědictví
- R4 – riziko ztrát ekonomických hodnot

Postupuje se podle diagramu pro výběr ochranných opatření s ohledem na vypočtené riziko, až do vyhovujícího celkového rizika, viz Obrázek 8.



Obrázek 8 - Diagram postupu pro výběr ochranných opatření a potřeby ochrany [11]

2.2.2. Vnější ochrana před bleskem

Vnější část LPS vznikne zřízením hromosvodní soustavy sestávající z jímací soustavy, soustavy svodů a uzemňovací soustavy. Mezi hlavní funkce hromosvodu patří: zachycení přímých úderů blesku do stavby jímací soustavou, bezpečné svedení bleskového proudu do země a rozvedení bleskového proudu v zemi pomocí uzemňovací soustavy.

Z výše uvedeného jsou patrné hlavní části hromosvodu:

- jímací soustava
- soustava svodů
- uzemňovací soustava
- ekvipotenciální pospojování proti blesku

Jímací soustava může být tvořena: tyčí nebo soustavou tyčí, podélným vedením nebo zavěšeným lanem, mřížovou soustavou nebo jejich kombinací. Metoda valící se koule vyšetřuje správně navržený ochranný prostor jímací soustavy. Pokud se valící se koule dotkne kterékoliv části objektu, je třeba v tomto místě zřídit (doplnit) jímací soustavu. Poloměr koule simuluje vstřícný výboj z jímací soustavy k vůdčímu výboji z mraku. Při návrhu LPS můžeme pro simulaci valící se koule přes objekty využít libovolný CAD program, případně lze vyšetřit řezy objektu ve všech jeho směrech. Ta se nesmí dotknout v žádném místě instalovaných zařízení ani střechy. Hodnoty poloměrů valící se koule jsou závislé na jednotlivých třídách ochrany LPS I – IV.

Svody slouží ke svedení bleskového proudu z jímače do zemní soustavy co nejkratší cestou. Je to v podstatě jen drát, který vede ze střechy do země. Musí mít dostatečný průřez, aby snesl tepelné i mechanické namáhání při průchodu bleskového proudu. Svody jsou umístěny symetricky u rohů budovy v dostatečné vzdálenosti od dveří, oken, anténního nebo napájecího vedení. Větší počet svodů způsobí zvětšení vodivosti svodové soustavy a rovnoměrné rozdělení bleskového proudu do zemní soustavy. Součástí svodu je i zkušební svorka, která umožňuje rozpojení svodu a měření správnosti uzemnění při revizi.

Uzemňovací soustava slouží ke svedení bleskového proudu do země, kde dochází k rozptýlení proudu bez nebezpečného přepětí a bez vzniku rozdílných potenciálů. Pro bezpečnou cestu bleskového proudu do země je důležitý tvar a rozměry zemniče. Současně se snažíme o co nejnížší odpor jednotlivých zemničů nebo celé zemní soustavy.

2.2.3. vnitřní ochrana před bleskem

Vnitřní ochrana proti přepětí chrání domovní elektroinstalaci i spotřebiče proti spínacímu přepětí nebo proti atmosférickému přepětí. Norma dělí oblast okolo budovy i v budově na zóny LPZ, viz Tabulka 3.

Tabulka 3 - Zóny LPZ [3]

LPZ 0	Zóna, ve které je ohrožení způsobeno netlumeným elektromagnetickým polem a ve které mohou být vnitřní systémy namáhány plným nebo dílčím impulsním bleskovým proudem.
LPZ 0a	Zóna, ve které je ohrožení způsobeno přímým úderem blesku a plným elektromagnetickým polem. Vnitřní systémy jsou namáhány plným impulsním bleskovým proudem.
LPZ 0b	Zóna chráněná před přímým úderem blesku, ale kde je ohrožení způsobeno plným elektromagnetickým polem. Vnitřní systémy mohou být namáhány dílčími impulsními bleskovými proudy.
LPZ 1	Zóna, ve které je omezen impulsní proud rozdělením proudu a SPD na rozhraních. Prostorové stínění může zeslabit elektromagnetické pole blesku.
LPZ 2...n	Zóna, ve které může být impulsní proud dále omezen rozdělením proudu a na rozhraních dalším SPD. Další dodatečné prostorové stínění může dále zeslabit elektromagnetické pole blesku.

Svodič je ochranný přístroj, který při výskytu přepětí zkratuje fázi s ochranným případně nulovým vodičem. Zkrat trvá jen po dobu přepětí. Svodiče chrání jen před krátkodobými přepětíovými impulsy o malé energii. Dlouhotrvající přepětí by svodič zničilo. Svodiče pracují buď na principu jiskřiště, varistoru nebo supresorové diody.

Jiskřiště jsou v podstatě dvě oddálené kovové nebo uhlíkové elektrody. Jejich vzdálenost značně ovlivňuje hodnotu zapalovacího napětí. Při přepětí roste napětí mezi elektrodami tak dlouho, dokud nedojde k porušení izolační pevnosti vzduchu případně plynu a následně nastane krátkodobý zkrat, který omezí napětí za jiskřištěm. Výhoda jiskřišť je značný odpor v klidovém stavu, jednoduchá konstrukce, prakticky nulový unikající proud, zkracují dobu trvání vlny a mají schopnost přenést velkou energii. Nevýhodou jiskřišť je dlouhá doba odezvy až 100 ns. Jiskřiště se používají hlavně ve svodičích typu 1, především díky své odolnosti. Používají se ale také u typu 2 a 3 ale jen jako speciální vyrovnávací N-PE jiskřiště.

Varistor je napětově závislý odpor, což znamená, že se odpor součástky mění podle velikosti přiloženého napětí. Právě této vlastnosti se využívá u svodičů. Při jmenovitém napětí se odpor varistoru blíží nekonečnu. Jakmile se objeví přepětí odpor plynule, ale rychle klesne, a tím se zkratuje krátkodobě obvod. Po odeznění impulsní přepětíové vlny odpor varistoru zase naroste k nekonečnu. Hlavní výhodou varistorových svodičů je jejich velmi rychlá odezva pod 25ns. Nevýhodou je, že nezkracuje dobu trvání vlny, nedokáže přenést tak velké energie jako jiskřiště a jeho odpor není nekonečný, proto malá část proudu uniká, ale neměla by překročit víc než několik desítek μA . Používá se pro svodiče typu 2 a 3.

Svodiče typu SPD 1 jsou hrubá ochrana a instalují se na rozhraní zón LPZ 0 a LPZ 1 a jejich úkolem je omezit přepětí na hodnotu menší než 4 kV. SPD 1 se také nazývají svodiče bleskových proudů, což naznačuje, že právě tento typ svodiče je dimenzován i proti atmosférickému přepětí, které dosahuje obrovských napěťových i proudových hodnot. SPD 1 pracuje na principu jiskřiště a zkouší se testovacím impulsem 10/350 μ s. Svodiče typu SPD 2 se umísťují mezi zóny LPZ 1 a LPZ 2. Většinou pracují na principu varistorů zapojených do hvězdy se speciálním vyrovnávacím jiskřištěm zapojeným na střed hvězdy. Tento typ svodiče omezuje přepětí pod hodnotu 2,5 kV. Zkouší se testovacím impulsem 8/20 μ s. Svodiče typu SPD 3 jsou nazývány jemná ochrana a instalují se mezi zóny LPZ 2 a LPZ 3. Pracují na principu supresorové diody nebo varistoru. Omezují přepětí pod 1,5 kV a jsou zkoušeny impulsní vlnou 1,2/50 μ s.

Bohužel neexistuje univerzální přepětový prvek, jenž by vyhovoval všem často protichůdným požadavkům. Na jedné straně rychlost odezvy a na straně druhé výkonové zatížení. Samotná přepětová ochrana typu 1 sice svede většinu bleskového proudu spolehlivě do země, jenže i tak vlna přepětí, která zůstane za svodičem, může snadno zničit spotřebiče v další části instalace, především z toho důvodu, že zareaguje s časovým zpožděním. Stejně tak samotný svodič typu 3 je bezmocný proti atmosférickému přepětí, které je dost velké na to, aby tento svodič zničilo. Mezi parametry svodičů typu 1 a 3 je velký rozdíl a proto se mezi ně vkládá ještě stupeň 2. Vytvoří se tak kaskáda, která splňuje všechny požadavky. Samotné rozmístění vhodných typů svodičů do kaskády neznámá, že budou pracovat správně, protože při velkém přepětovém impulsu, nejprve zareaguje nejrychlejší prvek, což je svodič SPD 3. Ten sice omezí přepětí, jenže právě kvůli tomu nezareaguje hrubá přepětová ochrana, protože napětí na mezi elektrodami jiskřiště bude menší, než je zápalné napětí jiskřiště. Energetická hodnota impulsu může být ale tak velká, že se SPD 3 zničí. Z tohoto důvodu je třeba provést správnou koordinaci přepětových prvků. Základem ke správné funkci celé kaskády je oddělovací impedance, která je představována buď tlumivkou, rezistorem nebo dostatečnou délkou kabelu.

3. Praktická část

3.1. Popis chráněného objektu

Cílem praktické části této práce je návrh ochrany před atmosférickým přepětím pro průmyslovou budovu. Jedná se o dvoupodlažní objekt. V přízemí se nachází výrobní část se třemi oddělenými provozy pro jednotlivé výroby Nicergolinu. V prvním patře se nacházejí laboratoře pro průběžnou výrobní kontrolu uvedeného provozu a také pro finální kontrolu vyrobených substancí v celém závodě. Na obou podlažích jsou dále sociální zařízení a kancelářské místnosti zajišťující podporu jak výroby, tak chodu laboratoří.

Stavba je zděna z pálených cihelných bloků tloušťky 44 cm, má rovnou střechu ze stropních keramicko-betonových nosníků a cihelných vložek Miako. Na střeše je položen hydroizolační pás z oxidovaného asfaltu s vložkou ze skleněné rohože a povrchovou úpravou barevný hrubozrnným posypem. Obvodové zdivo je zatepleno polystyrenem tloušťky 15 cm s finální fasádní omítkou. Podlaha je v celém objektu betonová s povrchovou úpravou ve formě PVC nebo keramické dlažby.

Na střeše jsou umístěny dva bloky vzduchotechniky, zajišťující odvětrávání provozů a odtahy z digestoří v laboratořích. V okolí těchto jednotek se vyskytují páry těkavých rozpouštědel, které tvoří při určitých koncentracích ve směsi se vzduchem výbušnou směs. Tato situace může nastat výjimečně, proto je v určité oblasti okolo vzduchotechniky zóna 2.

Přívodní napájecí vedení nízkého napětí je provedeno zemním kabelem 1-CYKY-J 3x95+70 mm² od firemní trafostanice 22/0.4 kV do přípojkové skříně budovy. Délka vedení je asi 200 metrů. Telekomunikační kabel ADSL je veden taktéž zemí a ukončen v přípojovací krabici.

Vzhled a vnější rozměry chráněné budovy - viz Obrázek 9. Výkresy pohledů na budovu včetně půdorysů střechy a jednotlivých pater jsou součástí výkresů 1 až 7 ve zvláštní příloze. V příloze je rovněž přiložen Protokol ATEX 96/15/01 s určením vnějších vlivů a zón uvedeného objektu.

3.1.1. Vnitřní zařízení technologické části budovy

Technologická část budovy se nachází v prvním podlaží budovy. Vzhledem k výšce některých zařízení (např. rektrifikační kolony pro regeneraci rozpouštědel) se prakticky jedná o dvě podlaží budovy rozdělené v určitých částech provozu pochozími rošty s kovovými schodišti.

V prvním podlaží budovy je umístěno také sociální zařízení obsluhy a podpůrné kanceláře, zajišťující provoz výroby. Nákres prvního podlaží - viz Obrázek 10. Rozdělení jednotlivých částí tohoto podlaží do zón a počet pracovníků obsluhy - viz Tabulka 4.

Výrobní část je rozdělena do tří částí - výrobních hal:

1. Výroba LUME:

Jedná se o první stupeň výroby nicergolinu z kyseliny lysergové. Detailní technologický postup není součástí této práce, ale je vhodné uvést, že se jedná o komplex zařízení sestávající z množství potrubí, čerpadel, manuálních či elektronicky řízených ventilů, reaktorů, krystalizátorů, odparek, filtračních zařízení, rektifikačních kolon pro regeneraci používaných rozpouštědel, fotoreaktorů a dalších aparátů chemického průmyslu. V této části výroby se používá kyseliny lysergové, kyselina sírová, uhličitán sodný, hydrogenuhličitán sodný, methanol, ethanol a aceton. Pro bezpečnost z pohledu ochrany před bleskem, respektive z protipožárního hlediska nás zajímají rozpouštědla tvořící se vzduchem potenciální nebezpečné výbušné směsi, tj. aceton, ethanol a methanol.

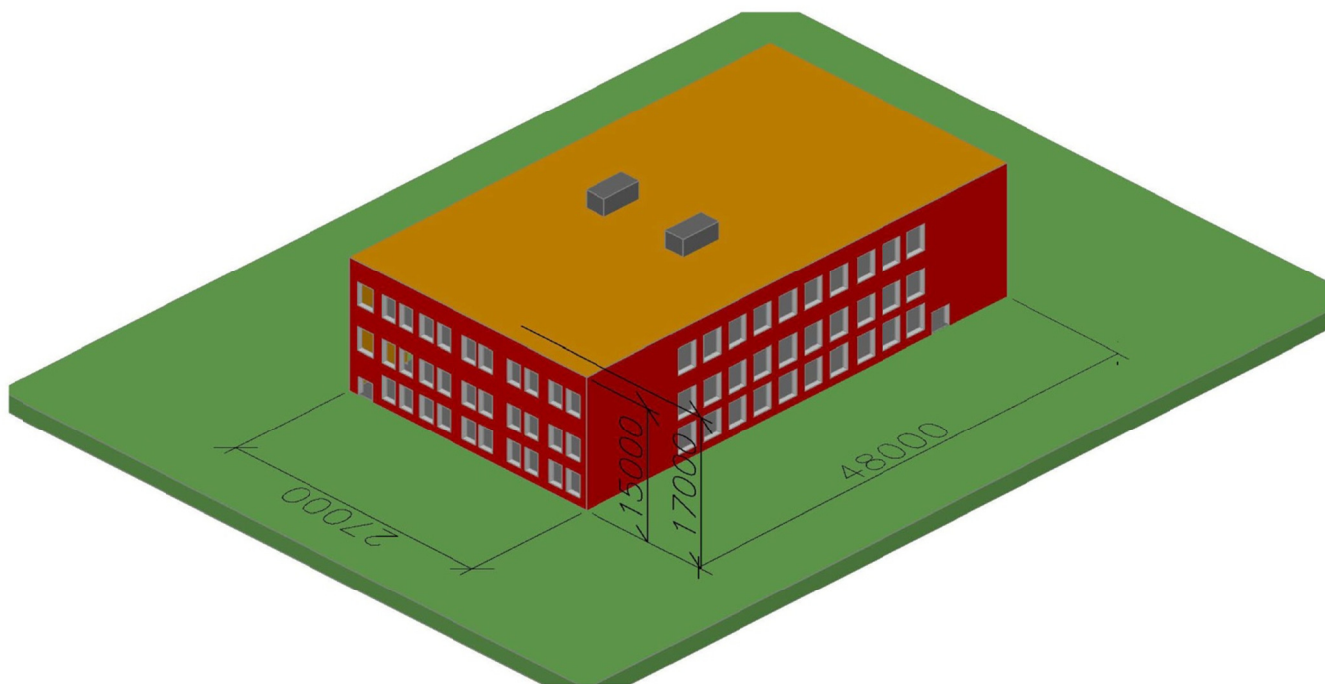
V prvotní části výroby nicergolinu se nenachází datová síť a není zde zaveden telekomunikační rozvod. Některé oblasti první části výroby nicergolinu se nachází v zóně 1 výbušnosti. Pro zjednodušení výpočtu rizik bude brána celá výroba LUME jako zóna 1.

2. Výroba MeLUOLu:

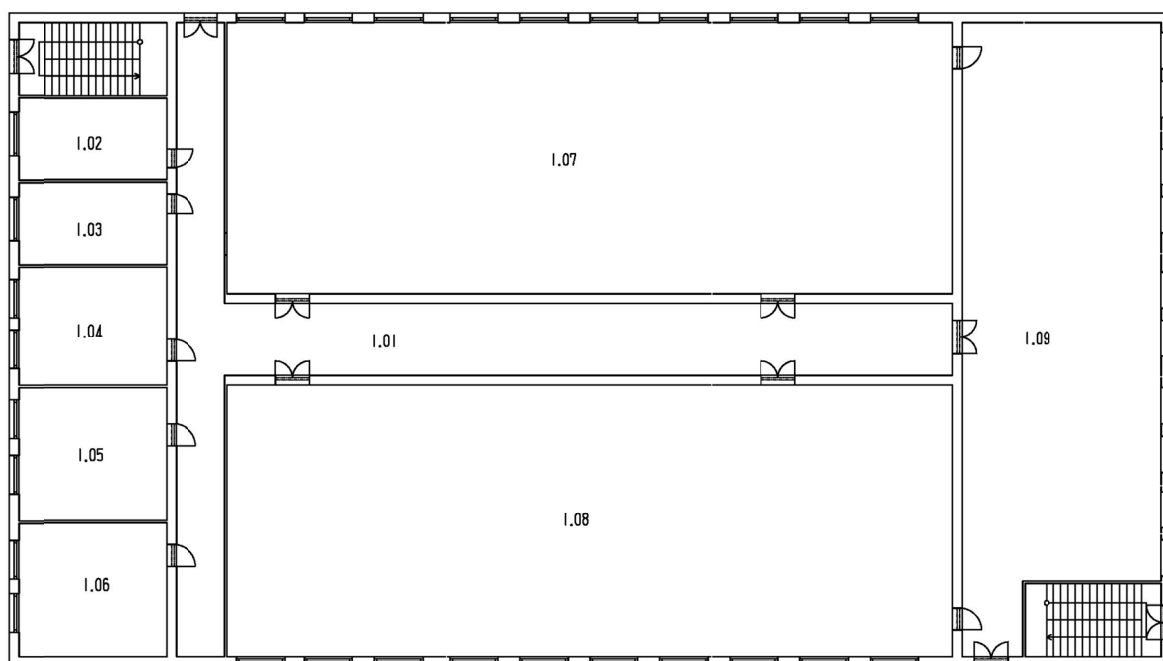
Jedná se o druhý stupeň výroby nicergolinu. Podobně jako v části výroby LUME, se zde nachází potrubí pro dopravu chemikálií, inertních plynů, vakua a topné páry, reaktory, krystalizátory, vakuové filtry, absorpční a rektifikační kolony, sušárny produktů a odstředivky. V této části výroby se již kromě klasické silové elektroinstalace nachází také telekomunikační rozvod. Pro druhý stupeň výroby se používá kromě vstupů z předchozího stupně následujících chemikálií: dichlormethan, dimethylsulfát, hydroxid sodný, tetraethylamonium hydroxid, kyselina octová, vodný roztok amoniaku, methanol ethanol a aceton. Přestože tato část výroby používá více typů hořlavých, a se směsí se vzduchem výbušných rozpouštědel, je na rozdíl od prvního stupně výroby LUME zařazena do zóny 2. A to z důvodu menšího množství používaných rozpouštědel, zajištění lepšího odvětrávání pracoviště a inertizací některých částí výroby dusíkem či argonem, např. vakuových odparek.

3. Výroba Nicergolinu:

Jde o poslední a finální stupeň výroby nicergolinu z MeLUOLu. Tato část provozu je již na rozdíl od dvou předcházejících kroků plně automatizována. Sestává z reaktoru pro kondenzaci kyseliny bromnikotinové s MeLUOLem. A pak již jen čistících operací, jako chromatografie a krystalizace. Následuje sušení produktu a jeho mletí na požadovanou velikost částic. Kromě pevného uhličitánu sodného, oxidu hlinitého a síranu sodného se v této části výroby používají tato rozpouštědla: methanol, aceton, diethylether, triethylamin, toluen, ethylacetát a aceton. Jedná se sice o velice těkavá rozpouštědla, jejichž páry tvoří se vzduchem výbušnou směs. Ale tak jako v předchozím kroku nedochází k nadměrnému úniku rozpouštědel do atmosféry provozu - účinné větrání, těsnost aparatur, elektronické kontrola úniku rozpouštědel a inertizace sušení a mletí substance. Proto je také tato část výroby zařazena do zóny 2. Detailní protokol o určení vnějších vlivů, vnitřních vlivů a prostředí je součástí přílohy této práce (Protokol č. ATEX 96/15/01).



Obrázek 9 - Vnější rozměry chráněné budovy - jihozápadní pohled



Obrázek 10 - Půdorys prvního podlaží chráněné budovy s označením místností

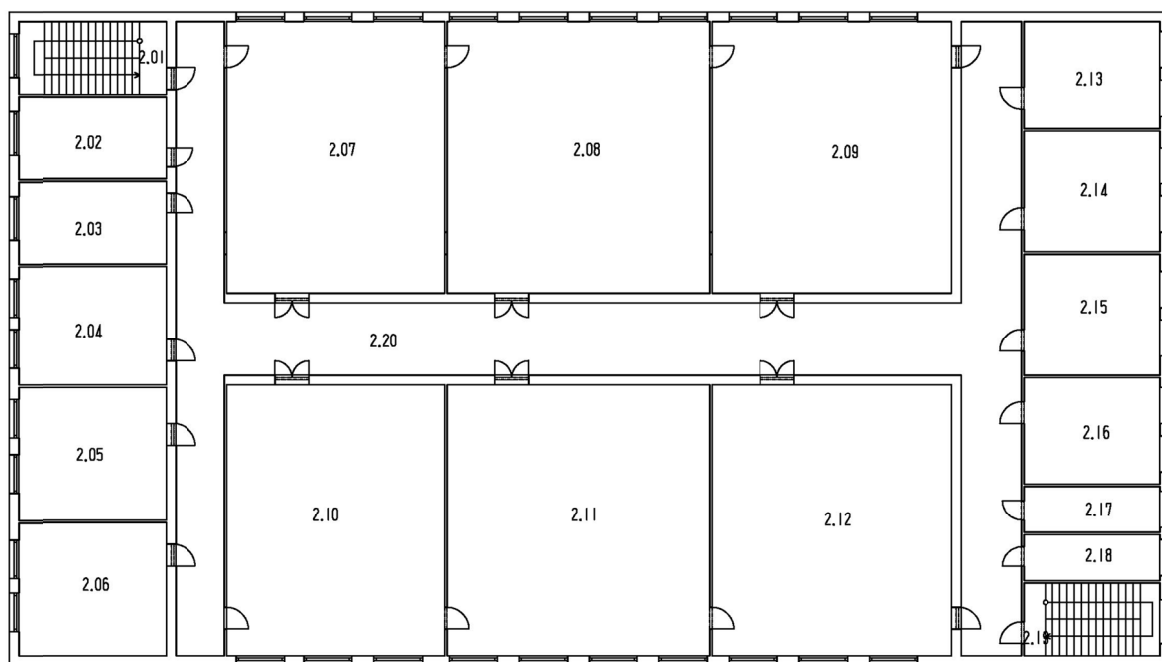
Tabulka 4 - Rozpis místností prvního podlaží chráněné budovy

číslo místnosti	název místnosti	plocha [m²]	zóna výbušnosti	počet osob/hodiny za rok	rozvody v místnosti
1.01	chodba	142.7	bez nebezpečí	-	jen silové
1.02	WC + sprchy	20.7	bez nebezpečí	-	jen silové
1.03	WC + sprchy	20.7	bez nebezpečí	-	jen silové
1.04	šatna	29.9	bez nebezpečí	2/500	jen silové
1.05	šatna	33.6	bez nebezpečí	2/500	jen silové
1.06	kancelář	33.6	bez nebezpečí	2/2500	silové datové
1.07	výroba LUME	348.0	zóna 1	8/4000	jen silové
1.08	výroba MeLUOLu	336.0	zóna 2	8/4000	silové datové
1.09	výroba Nicergolinu	196.0	zóna 2	6/4000	silové datové

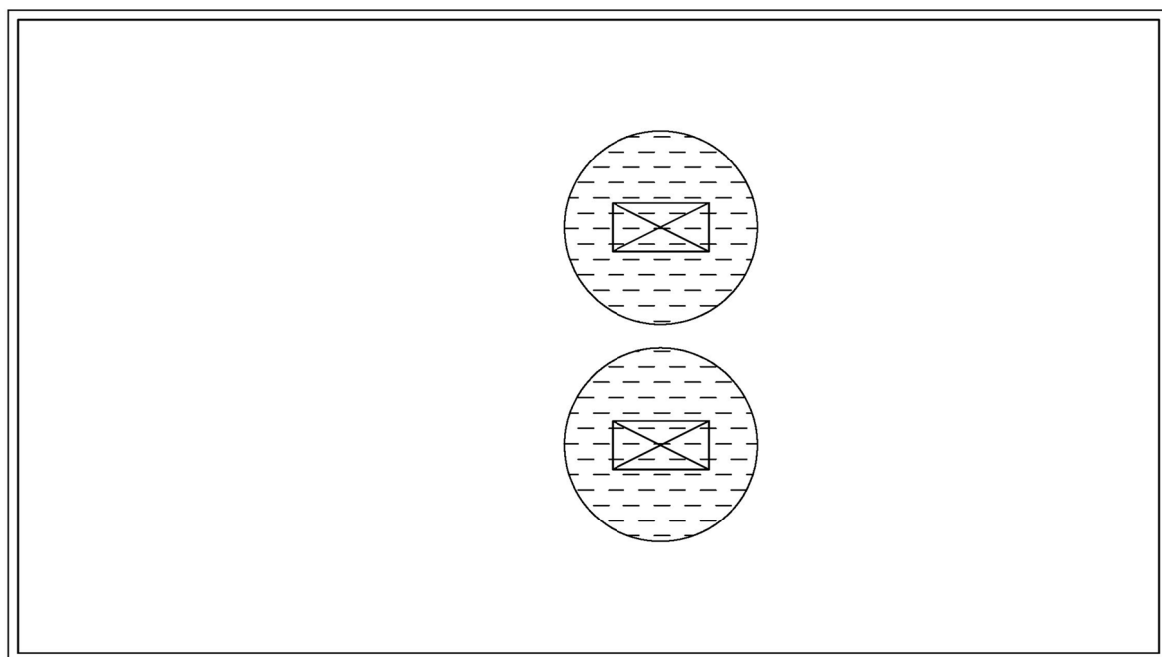
3.1.2. Vnitřní zařízení budovy - část laboratoří

Na druhém podlaží budovy se nachází šest laboratoří, kanceláře a sociální zařízení. V kancelářích i všech laboratořích se nachází jak silové rozvody, tak rozvody telefonu (datové rozvody). Ve dvou laboratořích, kde se pracuje s větším množstvím těkavých rozpouštědel (ethanol methanol, acetonitril, tetrahydrofuran, hexan, dichlormethan, terciální butylmethylether, isopropanol a další) je zóna 2 nebezpečí výbuchu. V ostatních čtyřech laboratořích jsou prostory bez nebezpečí výbuchu. Jedná se o instrumentální laboratoře, v nichž se pracuje s minimálními množstvími chemikálií a vznik výbušné atmosféry je prakticky vyloučen.

Nákres druhého podlaží - viz Obrázek 11. Rozdělení jednotlivých částí tohoto podlaží do zón a počet pracovníků v laboratořích a kancelářích - viz Tabulka 5.



Obrázek 11 - Půdorys druhého podlaží chráněné budovy s označením místností



**Obrázek 12 - Půdorys střechy chráněné budovy s vyznačením vzduchotechniky
a zóny 2 v jejím okolí**

Tabulka 5 - Rozpis místností druhého podlaží chráněné budovy

číslo místnosti	název místnosti	plocha [m²]	zóna výbušnosti	počet osob/hodiny za rok	rozvody v místnosti
2.01	schodiště	18.3	bez nebezpečí	-	jen silové
2.02	WC + sprchy	20.7	bez nebezpečí	-	jen silové
2.03	WC + sprchy	20.7	bez nebezpečí	-	jen silové
2.04	kancelář	29.9	bez nebezpečí	2/2500	silové datové
2.05	kancelář	33.6	bez nebezpečí	2/2500	silové datové
2.06	kancelář	33.6	bez nebezpečí	2/2500	silové datové
2.07	laboratoř instrumentální	100.8	bez nebezpečí	8/4000	silové datové
2.08	laboratoř instrumentální	122.1	bez nebezpečí	10/4000	silové datové
2.09	laboratoř instrumentální	110.9	bez nebezpečí	8/4000	silové datové
2.10	laboratoř instrumentální	100.8	bez nebezpečí	6/4000	silové datové
2.11	laboratoř klasická	122.1	zóna 1	8/4000	silové datové
2.12	laboratoř klasická	110.9	zóna 1	8/4000	silové datové
2.13	kancelář	24.6	bez nebezpečí	1/2500	silové datové
2.14	kancelář	28.0	bez nebezpečí	2/2500	silové datové
2.15	kancelář	28.0	bez nebezpečí	2/2500	silové datové
2.16	kancelář	24.6	bez nebezpečí	2/2500	silové datové
2.17	toaleta	10.6	bez nebezpečí	-	jen silové
2.18	toaleta	10.6	bez nebezpečí	-	jen silové
2.19	schodiště	16.8	bez nebezpečí	-	jen silové
2.20	chodba	209.4	bez nebezpečí	-	jen silové

3.1.3. Okolí chráněné budovy a její střecha

Jelikož se budova nachází v oploceném areálu firmy, nepředpokládá se výskyt nepovolaných osob v okolí budovy, např. v blízkosti svodů. V přímém okolí budovy se nevyskytují žádné komunikace ani chodníčky pro pěší - okolí budovy je zatravněno. Množství lidí přicházející a odcházející z budovy, vzhledem ke krátkému časovému intervalu pohybu kolem budovy, lze z bezpečnostního hlediska zanedbat. Čili při výpočtu rizik bude počítáno, jako by se v okolí budovy nevyskytovali žádní lidé.

Na střechě budovy jsou umístěny dvě jednotky vzduchotechniky, v jejichž dvoumetrovém okolí se mohou, při nepříznivých povětrnostních podmínkách, výjimečně nahromadit koncentrace par rozpouštědel odvětrávaných z budovy a vytvořit tak výbušnou atmosféru, viz Obrázek 12. Proto bude k tomuto okolí přihlíženo jako k zóně 2. Toto bude zohledněno při výpočtu jímacích tyčí a dostatečných vzdáleností svodů.

3.2. Výpočet rizik chráněné budovy

Rizika budou počítána jednak manuálně (v rámci pochopení problému jen první varianta) a obě, současně s variantou bez ochrany, budou spočítány pomocí softwaru Prozik od OEZ a porovnány. Ve všech případech bude vycházeno z normy ČSN EN 62305-2 ed. 2. Výpočet rizik je proveden pro tři varianty. Reporty všech ze SW Prozik jsou přiloženy ve zvláštní příloze a označeny jako Prozik_varianta_A, B a C:

- A) přívodní nestíněné silové vedení v délce 200 metrů bude nahrazeno stíněným vedením
- B) budou použity SPD s lepšími ochrannými charakteristikami než uvádí LPL1
- C) budova bez jakékoli ochrany před bleskem

3.2.1. Odhad ročního počtu nebezpečných událostí

Z izokeraunické mapy České republiky byl odečten průměrný počet bouřkových dní za rok. Pro oblast Opava-Komárov, kde se nachází chráněná budova, je to podle mapy z roku 2007 $T_D = 15-20$ bouřkových dní, beru horší variantu, tj. 20 dní za rok.

Hustota úderů blesků do země - počet úderů za rok na 1 km^2 :

přibližný výpočet podle 62305-2:

$$N_G = 0.1 \cdot T_D = 0.1 \cdot 20 = \underline{\underline{2 \text{ km}^{-2}}} \quad (1)$$

výpočet podle 33 2000-4-443 (podle tohoto počítá Prozik):

$$N_G = 0.04 \cdot T_D^{1.25} = 0.04 \cdot 20^{1.25} \doteq \underline{\underline{1.7 \text{ km}^{-2}}} \quad (2)$$

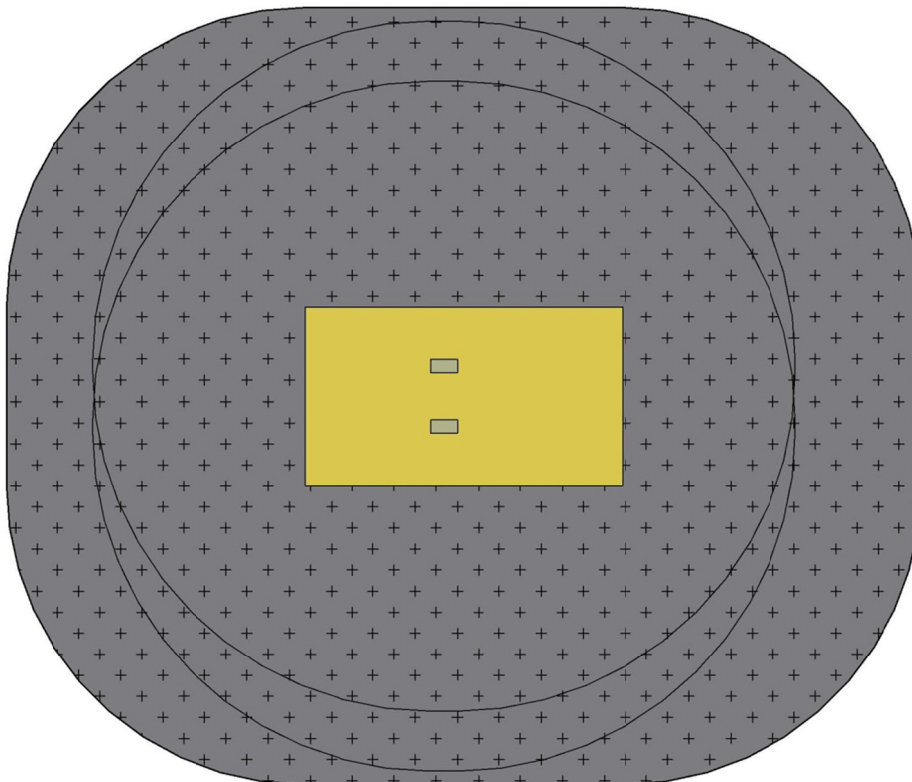
proto byla do Proziku zadána hodnota 23 bouřkových dní:

$$N_G = 0.04 \cdot T_D^{1.25} = 0.04 \cdot 23^{1.25} \doteq \underline{\underline{2.0 \text{ km}^{-2}}} \quad (3)$$

3.2.1.1. Údery do stavby a v blízkosti stavby

Sběrná plocha pro údery do stavby se určí jako průnik plochy země a přímky s trojnásobnou délkou výšky stavby obíhající okolo horní hrany stavby, viz Obrázek 13. Z tohoto obrázku je také patrné, že plochy sběrné plochy dvou vyvýšených vzduchotechnik jsou uvnitř celkové sběrné plochy stavby. Proto lze vypočítat velikost sběrné plochy pro osamocenou pravoúhlou stavbu:

$$\begin{aligned} A_D &= L \cdot W + 2 \cdot (3 \cdot H)(L + W) + \pi(3H)^2 = \\ 48 \cdot 27 + 2 \cdot (3 \cdot 15)(48 + 27) + \pi(3 \cdot 15)^2 &= \underline{\underline{14408 \text{ m}^2}} \end{aligned} \quad (4)$$



Obrázek 13 - určení sběrné plochy A_D (pro údery do stavby)

Sběrná plocha pro údery v blízkosti stavby se počítá jako plocha ve vzdálenosti 500 metrů od obvodu stavby:

$$A_M = 2 \cdot 500 \cdot (L + W) + \pi \cdot 500^2 = 2 \cdot 500 \cdot (48 + 27) + \pi \cdot 500^2 = \underline{\underline{860398 \text{ m}^2}} \quad (5)$$

Odhad průměrného ročního počtu nebezpečných událostí pro stavbu:

$$N_D = N_G \cdot A_D \cdot C_D \cdot 10^{-6} = 2 \cdot 14408 \cdot 0.5 \cdot 10^{-6} = \underline{\underline{0.01441 \text{ rok}^{-1}}} \quad (6)$$

C_Dčinitel polohy stavby, dle tabulky A.1 (ČSN EN 62305-2) nabývá pro stavbu obklopenou objekty přibližně stejné výšky hodnoty 0.5

Odhad průměrného ročního počtu nebezpečných událostí v blízkosti stavby:

$$N_M = N_G \cdot A_M \cdot 10^{-6} = 2 \cdot 860398 \cdot 10^{-6} = \underline{\underline{1.7208 \text{ rok}^{-1}}} \quad (7)$$

3.2.1.2. Údery do vedení a v jejich blízkosti

V tomto projektu je počítáno se dvěma vedeními. Podzemní silové vedení v délce 200 metrů od firemní rozvodny 22/0.4 kV a telekomunikační vedení neznámé délky (v tomto případě se zadává hodnota 1000 metrů). Měrný odpor půdy pro výpočet sběrné oblastí úderů je 400 Ωm .

Sběrná oblast úderů zasahujících silové a telekomunikační vedení:

$$\begin{aligned} A_{L_{sil}} &= 40 \cdot L_{L_{sil}} = 40 \cdot 200 = \underline{\underline{8000 \text{ m}^2}} \\ A_{L_{tel}} &= 40 \cdot L_{L_{tel}} = 40 \cdot 1000 = \underline{\underline{40000 \text{ m}^2}} \end{aligned} \quad (8)$$

Sběrná oblast úderů do země v blízkosti silového a telekomunikačního vedení:

$$\begin{aligned} A_{I_{sil}} &= 4000 \cdot L_{I_{sil}} = 4000 \cdot 200 = \underline{\underline{800000 \text{ m}^2}} \\ A_{I_{tel}} &= 4000 \cdot L_{I_{tel}} = 4000 \cdot 1000 = \underline{\underline{4000000 \text{ m}^2}} \end{aligned} \quad (9)$$

Odhad průměrného ročního počtu nebezpečných událostí způsobených úderem do vedení:

$$\begin{aligned} N_{L_{sil}} &= N_G \cdot A_{L_{sil}} \cdot C_I \cdot C_E \cdot C_T \cdot 10^{-6} = 2 \cdot 8000 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 10^{-6} = \underline{\underline{0.004 \text{ rok}^{-1}}} \\ N_{L_{tel}} &= N_G \cdot A_{L_{tel}} \cdot C_I \cdot C_E \cdot C_T \cdot 10^{-6} = 2 \cdot 40000 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 10^{-6} = \underline{\underline{0.02 \text{ rok}^{-1}}} \end{aligned} \quad (10)$$

Odhad průměrného ročního počtu nebezpečných událostí způsobených úderem v blízkosti vedení:

$$\begin{aligned} N_{Isil} &= N_G \cdot A_{Isil} \cdot C_I \cdot C_E \cdot C_T \cdot 10^{-6} = 2 \cdot 800000 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 10^{-6} = \underline{\underline{0.4 \text{ rok}^{-1}}} \\ N_{Itel} &= N_G \cdot A_{Itel} \cdot C_I \cdot C_E \cdot C_T \cdot 10^{-6} = 2 \cdot 4000000 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 10^{-6} = \underline{\underline{2 \text{ rok}^{-1}}} \end{aligned} \quad (11)$$

- C_Ičinitel instalace vedení, dle tabulky A.2 (ČSN EN 62305-2) nabývá pro vedení umístěné v zemi hodnoty 0.5
 C_Tčinitel typu vedení, dle tabulky A.3 (ČSN EN 62305-2) nabývá pro silové a telekomunikační vedení hodnoty 1.0
 C_Ečinitel prostředí pro vedení, dle tabulky A.4 (ČSN EN 62305-2) nabývá pro předměstské prostředí hodnoty 0.5

3.2.2. Odhad pravděpodobnosti vzniku škody

Odhad pravděpodobnosti vzniku škody se vztahuje k vedení nebo ke stavbě. U vedení bude vypočítán zvlášť pro silové a zvlášť pro telekomunikační vedení. Pro následný výpočet rizik jednotlivých zón se budou případné pravděpodobnosti sčítat - dle vedení připojených k jednotlivým zónám.

Pravděpodobnost, že úder do stavby způsobí úraz živých bytostí elektrickým proudem:

$$P_A = P_{TA} \cdot P_B = 1 \cdot 0.02 = \underline{\underline{0.02}} \quad (12)$$

- P_{TA}činitel doplňujících ochranných opatření, dle tabulky B.1 (ČSN EN 62305-2) nabývá pro žádné ochranné opatření hodnoty 1.0
 P_Bpravděpodobnost, že úder do stavby způsobí hmotnou škodu, dle tabulky B.2 (ČSN EN 62305-2) nabývá pro LPS I hodnoty 0.02

Pravděpodobnost, že úder do stavby způsobí poruchu vnitřních systémů - pro každé vedení:

$$P_C = P_{SPD} \cdot C_{LD} = 0.01 \cdot 1 = \underline{\underline{0.01}} \quad (13)$$

- P_{SPD}hodnota pravděpodobnosti jako funkce bleskového proudu, dle tabulky B.3 (ČSN EN 62305-2) nabývá pro LPL I hodnoty 0.01
 C_{LD}činitel závisící na podmínkách stínění, uzemnění a oddělení, dle tabulky B.4 (ČSN EN 62305-2) nabývá pro náš případ hodnoty 1.0

Hodnota činitele P_{MS} pro jednotlivé typy vedení v budově:

$$P_{MSil} = (K_{S1} \cdot K_{S2} \cdot K_{S3} \cdot K_{S4})^2 = \left(1 \cdot 1 \cdot 0.01 \cdot \frac{1}{2.5}\right)^2 = 1.6 \cdot 10^{-5}$$

$$P_{MStel} = (K_{S1} \cdot K_{S2} \cdot K_{S3} \cdot K_{S4})^2 = \left(10^{-4} \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-4} \cdot \frac{1}{1.5}\right)^2 = 4 \cdot 10^{-25} \doteq 0$$
(14)

$K_{S1, S2}$ činitele zohledňující stínění, dle ČSN EN 62305-2 str. 45 nabývá souvislé kovové stínění hodnoty 0.0001, pro nestíněné hodnoty 1.0

K_{S3} činitele zohledňující vnitřní zapojení, dle tabulky B.5 (ČSN EN 62305-2) nabývá pro stíněné kabely hodnoty 0.0001 a pro nestíněné s vyloučením smyček hodnoty 0.01

K_{S4} činitele zohledňující impulzní výdržné napětí, dle ČSN EN 62305-2 str. 45 je roven převrácené hodnotě impulzního výdržného napětí v kV

Pravděpodobnost, že úder v blízkosti stavby způsobí poruchu vnitřních systémů, tato pravděpodobnost je rozdílná pro obě vedení v budově:

$$P_{Msil} = P_{SPD} \cdot P_{MSil} = 0.01 \cdot 1.6 \cdot 10^{-5} = \underline{\underline{1.6 \cdot 10^{-7}}}$$

$$P_{Mtel} = P_{SPD} \cdot P_{MStel} = 0.01 \cdot 4 \cdot 10^{-25} = \underline{\underline{4 \cdot 10^{-27} \doteq 0}}$$
(15)

Pravděpodobnost, že úder do vedení způsobí úraz živých bytostí elektrickým proudem, tato pravděpodobnost je rozdílná pro obě vedení v budově:

$$P_{Usil} = P_{TU} \cdot P_{EB} \cdot P_{LDsil} \cdot C_{LD} = 1 \cdot 0.01 \cdot 0.6 \cdot 1 = \underline{\underline{0.006}}$$

$$P_{Utel} = P_{TU} \cdot P_{EB} \cdot P_{LDtel} \cdot C_{LD} = 1 \cdot 0.01 \cdot 1 \cdot 1 = \underline{\underline{0.01}}$$
(16)

Pravděpodobnost, že úder do vedení způsobí hmotnou škodu, tato pravděpodobnost je rozdílná pro obě vedení v budově:

$$P_{Vsil} = P_{EB} \cdot P_{LDsil} \cdot C_{LD} = 0.01 \cdot 0.6 \cdot 1 = \underline{\underline{0.006}}$$

$$P_{Vtel} = P_{EB} \cdot P_{LDtel} \cdot C_{LD} = 0.01 \cdot 1 \cdot 1 = \underline{\underline{0.01}}$$
(17)

Pravděpodobnost, že úder do vedení způsobí poruchu vnitřních systémů, tato pravděpodobnost je rozdílná pro obě vedení v budově:

$$P_{Wsil} = P_{SPD} \cdot P_{LDsil} \cdot C_{LD} = 0.01 \cdot 0.6 \cdot 1 = \underline{\underline{0.006}}$$

$$P_{Wtel} = P_{SPD} \cdot P_{LDtel} \cdot C_{LD} = 0.01 \cdot 1 \cdot 1 = \underline{\underline{0.01}}$$
(18)

P_{TU}činitel doplňujících ochranných opatření dotykových napětí, dle tabulky B.6 (ČSN EN 62305-2) nabývá pro žádné ochranné opatření hodnoty 1.0

P_{EB}pravděpodobnost jako funkce LPL pro SPD, dle tabulky B.7 (ČSN EN 62305-2) nabývá pro LPL I hodnoty 0.01

P_{LD}pravděpodobnost v závislosti na rezistanci stínění a impulzním výdržném napětí, dle tabulky B.8 (ČSN EN 62305-2) nabývá pro silové vedení hodnoty 0.6 a pro telekomunikační 1.0

Pravděpodobnost, že úder v blízkosti vedení způsobí poruchu vnitřních systémů, z důvodu stínění obou vedení je tato hodnota rovna nule:

$$\begin{aligned} P_{Zsil} &= P_{SPD} \cdot P_{Lsil} \cdot C_{LI} = 0.01 \cdot 0.3 \cdot 0 = \underline{\underline{0}} \\ P_{Ztel} &= P_{SPD} \cdot P_{Litel} \cdot C_{LI} = 0.01 \cdot 0.5 \cdot 0 = \underline{\underline{0}} \end{aligned} \quad (19)$$

P_{LI}pravděpodobnost poruchy vnitřních systémů v závislosti na rezistanci stínění a impulzním výdržném napětí, dle tabulky B.9 (ČSN EN 62305-2) nabývá pro silové vedení hodnoty 0.3 a pro telekomunikační 0.5

C_{LI}činitel závisící na podmínkách stínění, uzemnění a oddělení, dle tabulky B.4 (ČSN EN 62305-2) pro případ stíněného vedení spojeného s přípojnici pospojování nabývá nulové hodnoty

3.2.3. Odhad rozsahu ztráty L1 - na lidských životech

Odhad rozsahu ztrát se počítá pro každou zónu zvlášť. Podle způsobu se ztráty dělí na:

L_Aztráty související s úrazy živých bytostí (úder do stavby)

L_Bztráty související s hmotnou škodou (úder do stavby)

L_Cztráty související s poruchou vnitřních systémů (úder do stavby)

L_Mztráty související s poruchou vnitřních systémů (úder v blízkosti stavby)

L_Uztráty související s úrazy živých bytostí (úder do inženýrské sítě)

L_Vztráty související s hmotnou škodou (úder do inženýrské sítě)

L_Wztráty související s poruchou vnitřních systémů (úder do inženýrské sítě)

L_Zztráty související s poruchou vnitřních systémů (úder v blízkosti inženýrské sítě)

Pro každou zónu se ztráta vypočítá dle tabulky C.1 (ČSN EN 62305-2):

$$L_A = L_U = r_t \cdot L_T \cdot \frac{n_z}{n_t} \cdot \frac{t_z}{8760} \quad (20)$$

$$L_B = L_V = r_p \cdot r_f \cdot h_z \cdot L_F \cdot \frac{n_z}{n_t} \cdot \frac{t_z}{8760} \quad (21)$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_0 \cdot \frac{n_z}{n_t} \cdot \frac{t_z}{8760} \quad (22)$$

- L_Ttypický střední relativní počet obětí úrazu elektrickým proudem v důsledku jedné nebezpečné události dle tabulky C.2 (ČSN EN 62305-2)
- L_Ftypický střední relativní počet obětí způsobených hmotnou škodou v důsledku jedné nebezpečné události dle tabulky C.2 (ČSN EN 62305-2)
- L_Dtypický střední relativní počet obětí způsobených poruchou vnitřních systémů v důsledku jedné nebezpečné události dle tabulky C.2 (ČSN EN 62305-2)
- r_tčinitel snižující ztráty lidských životů v závislosti na druhu půdy nebo podlahy dle tabulky C.3 (ČSN EN 62305-2)
- r_pčinitel snižující ztráty v důsledku hmotné škody v závislosti na opatření přijatých ke snížení následků požáru dle tabulky C.4 (ČSN EN 62305-2)
- r_fčinitel snižující ztráty v důsledku hmotné škody v závislosti na riziku požáru nebo riziku výbuchu stavby dle tabulky C.5 (ČSN EN 62305-2)
- h_zčinitel zvyšující ztráty v důsledku hmotné škody, jestliže se vyskytuje ještě zvláštní nebezpečí dle tabulky C.6 (ČSN EN 62305-2)
- n_zpočet osob v zóně
- n_tcelkový počet osob ve stavbě, v našem případě 95 osob
- t_zdoby v hodinách za rok, po kterou jsou osoby přítomné v zóně

Tabulka 6 - zóny, uvažované ztráty a ostatní konstanty pro výpočet L1

zóna	možné ztráty	L_T	L_F	L_0	r_t	r_{p^*}	r_f	h_z	n_z	t_z
šatny	L_A L_B L_U L_V	0.01	0.1	0.1	0.001	1	0	1	4	500
kanceláře	L_A L_B L_U L_V	0.01	0.1	0.1	0.00001	1	0.001	1	15	2500
laboratoře bez nebezpečí výbuchu	L_A L_B L_U L_V	0.01	0.1	0.1	0.001	1	0.001	2	32	4000
nebezpečí výbuchu zóna 2	L_A L_B L_C L_M L_U L_V L_W L_Z	0.01	0.1	0.1	0.001	1	0.001	2	34	4000
nebezpečí výbuchu zóna 1	L_A L_B L_C L_M L_U L_V L_W L_Z	0.01	0.1	0.1	0.001	1	0.1	2	10	4000

*- ve stavbách s nebezpečím výbuchu je ve všech případech $r_p = 1$

Ve všech zónách je rozvedeno silové vedení, telekomunikační vedení není v šatnách a v zóně 1 nebezpečí výbuchu

3.2.3.1. Výpočet ztráty L1 pro šatny

$$L_A = L_U = 0.001 \cdot 0.01 \cdot \frac{4}{95} \cdot \frac{500}{8760} = \underline{\underline{2.403 \cdot 10^{-8}}} \quad (23)$$

$$L_B = L_V = 0 \quad (24)$$

3.2.3.2. Výpočet ztráty L1 pro kanceláře

$$L_A = L_U = 10^{-5} \cdot 0.01 \cdot \frac{15}{95} \cdot \frac{2500}{8760} = \underline{\underline{4.506 \cdot 10^{-9}}} \quad (25)$$

$$L_B = L_V = 0.001 \cdot 0.1 \cdot \frac{15}{95} \cdot \frac{2500}{8760} = \underline{\underline{4.506 \cdot 10^{-6}}} \quad (26)$$

3.2.3.3. Výpočet ztráty L1 pro laboratoře bez nebezpečí výbuchu

$$L_A = L_U = 0.001 \cdot 0.01 \cdot \frac{32}{95} \cdot \frac{4000}{8760} = \underline{\underline{1.538 \cdot 10^{-6}}} \quad (27)$$

$$L_B = L_V = 0.001 \cdot 2 \cdot 0.1 \cdot \frac{32}{95} \cdot \frac{4000}{8760} = \underline{\underline{3.076 \cdot 10^{-5}}} \quad (28)$$

3.2.3.4. Výpočet ztráty L1 pro zónu 2 nebezpečí výbuchu - laboratoře a výroba

$$L_A = L_U = 0.001 \cdot 0.01 \cdot \frac{34}{95} \cdot \frac{4000}{8760} = \underline{\underline{1.634 \cdot 10^{-6}}} \quad (29)$$

$$L_B = L_V = 0.001 \cdot 2 \cdot 0.1 \cdot \frac{34}{95} \cdot \frac{4000}{8760} = \underline{\underline{3.268 \cdot 10^{-5}}} \quad (30)$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = 0.1 \cdot \frac{34}{95} \cdot \frac{4000}{8760} = \underline{\underline{1.634 \cdot 10^{-2}}} \quad (31)$$

3.2.3.5. Výpočet ztráty L1 pro zónu 1 nebezpečí výbuchu - výroba

$$L_A = L_U = 0.001 \cdot 0.01 \cdot \frac{10}{95} \cdot \frac{4000}{8760} = \underline{\underline{4.807 \cdot 10^{-7}}} \quad (32)$$

$$L_B = L_V = 0.1 \cdot 2 \cdot 0.1 \cdot \frac{10}{95} \cdot \frac{4000}{8760} = \underline{\underline{9.613 \cdot 10^{-4}}} \quad (33)$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = 0.1 \cdot \frac{10}{95} \cdot \frac{4000}{8760} = \underline{\underline{4.807 \cdot 10^{-3}}} \quad (34)$$

3.2.4. Odhad rizika R1 - ztráty na lidských životech

Celkové riziko je suma dílčích rizik pro kombinace jednotlivých zón a jednotlivými vedeními. Přípustné riziko R_T je pro ztráty na lidských životech nebo trvalé následky úrazů rovno 10^{-5} r^{-1} , celkové vypočtené riziko musí být menší nebo rovno než tato hodnota, jinými slovy pravděpodobnost vzniku jednoho smrtelného úrazu či úrazu s trvalými následky musí být menší než jeden případ za 100000 let.

Podle způsobu se rizika dělí na:

R_Ariziko související s úrazy živých bytostí (údery do stavby)

R_Briziko související s hmotnou škodou (údery do stavby)

R_Criziko související s poruchou vnitřních systémů (údery do stavby)

R_Mriziko související s poruchou vnitřních systémů (údery v blízkosti stavby)

R_Uriziko související s úrazy živých bytostí (údery do inženýrské sítě)

R_Vriziko související s hmotnou škodou (údery do inženýrské sítě)

R_Wriziko související s poruchou vnitřních systémů (údery do inženýrské sítě)

R_Zriziko související s poruchou vnitřních systémů (údery v blízkosti inženýrské sítě)

V následujících výpočtech budou zóny označeny indexem $i = 1$ až 5 a vedení indexem S jako silové a indexem T jako telekomunikační/datové:

$$R_A = N_D \cdot P_A \cdot \sum_{i=1}^5 L_{Ai} = 0.01441 \cdot 0.02 \cdot 3.681 \cdot 10^{-6} = \underline{\underline{1.061 \cdot 10^{-9}}} \quad (35)$$

$$R_B = N_D \cdot P_B \cdot \sum_{i=1}^5 L_{Bi} = 0.01441 \cdot 0.02 \cdot 1.029 \cdot 10^{-3} = \underline{\underline{2.966 \cdot 10^{-7}}} \quad (36)$$

$$R_C = N_D \cdot \left(P_{Cs} \cdot \sum_{i=1}^5 L_{Ci} + P_{Ct} \cdot \sum_{i=2}^4 L_{Ci} \right) =$$

$$0.01441 \cdot (0.01 \cdot 0.02115 + 0.01 \cdot 0.01634) = \underline{\underline{5.402 \cdot 10^{-6}}} \quad (37)$$

$$R_M = N_M \cdot \left(P_{M_S} \cdot \sum_{i=1}^5 L_{Mi} + P_{M_T} \cdot \sum_{i=2}^4 L_{Mi} \right) =$$

$$1.7208 \cdot (1.6 \cdot 10^{-7} \cdot 0.02115 + 0) = \underline{\underline{5.823 \cdot 10^{-9}}} \quad (38)$$

$$R_U = N_{L_S} \cdot P_{U_S} \cdot \sum_{i=1}^5 L_{Ui} + N_{L_T} \cdot P_{U_T} \cdot \sum_{i=2}^4 L_{Ui} =$$

$$0.004 \cdot 0.006 \cdot 3.681 \cdot 10^{-6} + 0.02 \cdot 0.01 \cdot 3.176 \cdot 10^{-6} = \underline{\underline{7.235 \cdot 10^{-10}}} \quad (39)$$

$$R_V = N_{L_S} \cdot P_{V_S} \cdot \sum_{i=1}^5 L_{Vi} + N_{L_T} \cdot P_{V_T} \cdot \sum_{i=2}^4 L_{Vi} =$$

$$0.004 \cdot 0.006 \cdot 1.029 \cdot 10^{-3} + 0.02 \cdot 0.01 \cdot 6.77 \cdot 10^{-5} = \underline{\underline{3.824 \cdot 10^{-8}}} \quad (40)$$

$$R_W = N_{L_S} \cdot P_{W_S} \cdot \sum_{i=1}^5 L_{Wi} + N_{L_T} \cdot P_{W_T} \cdot \sum_{i=2}^4 L_{Wi} =$$

$$0.004 \cdot 0.006 \cdot 0.02115 + 0.02 \cdot 0.01 \cdot 0.01634 = \underline{\underline{3.776 \cdot 10^{-6}}} \quad (41)$$

$$R_Z = N_{I_S} \cdot P_{Z_S} \cdot \sum_{i=1}^5 L_{Zi} + N_{I_T} \cdot P_{Z_T} \cdot \sum_{i=2}^4 L_{Zi} =$$

$$0.4 \cdot 0 \cdot 0.02115 + 2 \cdot 0 \cdot 0.01634 = \underline{\underline{0}} \quad (42)$$

$$R1 = R_A + R_B + R_C + R_M + R_U + R_V + R_W + R_Z = \underline{\underline{9.52 \cdot 10^{-6} \leq 1 \cdot 10^{-5} = R_T}} \quad (43)$$

Součet rizika R1 ztráty na lidských životech je rovna asi $9.52 \cdot 10^{-6}$, což je méně než hodnota přípustného rizika. Navržená varianta 1, tj. záměna klasického přívodního silového kabelu za kabel stíněný je z hlediska rizik ztráty lidských životů použitelná.

3.2.5. Výpočet rizika pomocí SW Prozik

Program pro výpočet rizik pravděpodobných průměrných ročních ztrát způsobených úderem blesku. Program Prozik byl vytvořen jako výpočetní pomůcka, která urychlí výpočet rizika dle ČSN EN 62305-2 ed. 2.

Aby byl výsledek rizika přijatelný, přicházejí v úvahu dvě varianty:

- a) přívodní nestíněné silové vedení v délce 200 metrů bude nahrazeno stíněným vedením
- b) budou použity SPD s lepšími ochrannými charakteristikami než uvádí LPL1

Výsledky ve formě protokolů jsou pro všechny varianty uvedeny v příloze.

3.2.5.1. Varianta bez ochrany

Pokud bychom nepoužili žádnou vnitřní ani vnější ochranu, budou vypočítaná rizika následující, viz Tabulka 7. Celkové vypočítané riziko R_1 je asi $3.3 \cdot 10^{-3}$, což více než 300x převyšuje maximální přípustné riziko $1 \cdot 10^{-5}$.

Tabulka 7 - výstup rizik ze SW Prozik pro variantu bez ochrany

	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z	Celk. riziko	Příp. h.
R_1	5.304E-8	1.483E-5	3.047E-4	5.824E-7	7.826E-8	5.476E-6	4.114E-4	2.538E-3	3.275E-3	1.0E-5
R_2	—	0	0	0	—	0	0	0	0	1.0E-3
R_3	—	0	—	—	—	0	—	—	0	1.0E-3
R_4	0	2.613E-4	1.21E-3	2.313E-6	0	8.908E-5	1.759E-3	1.008E-2	1.34E-2	0

3.2.5.2. Varianta A

- stíněné přívodní silové vedení
- stavba je chráněná pomocí LPS I
- SPD pro ekvipotenciální pospojování LPL I
- vnitřní silové vedení LPL I
- vnitřní datové vedení LPL I
- hasiči v areálu firmy \Rightarrow příjezd do 10 minut

Přívodní nestíněné vedení 1-CYKY-J 3x95+70 v délce 200 metrů bude nahrazeno stíněným vedením NYCWY 4x95 SM/50. SPD s ochrannými charakteristikami na úrovni LPL I. Do SW Prozik jsou zadány parametry dle kapitoly 3.1.1 až 3.2.4, výstup rizik je v tabulce níže, viz Tabulka 8. Jeho výsledky jsou skoro totožné s manuálním výpočtem uvedeným v kapitolách 3.2.1 až 3.2.4. Nepatrné rozdíly jsou způsobeny zaokrouhlováním mezivýsledků při manuálním výpočtu dle normy ČSN EN 62305-2 ed. 2. Celkové vypočítané riziko R_1 je asi $9.5 \cdot 10^{-6}$, což je menší než maximální přípustné riziko $1 \cdot 10^{-5}$.

Tabulka 8 - výstup rizik ze SW Prozik pro variantu A

	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z	Celk. riziko	Příp. h.
R_1	1.061E-9	2.966E-7	5.378E-6	5.824E-9	7.237E-10	3.829E-8	3.776E-6	0	9.497E-6	1.0E-5
R_2	—	0	0	0	—	0	0	0	0	1.0E-3
R_3	—	0	—	—	—	0	—	—	0	1.0E-3
R_4	0	5.226E-6	2.225E-5	2.313E-8	0	6.006E-7	1.625E-5	0	4.434E-5	0

3.2.5.3. Varianta B

- stavba je chráněná pomocí LPS I
- SPD pro ekvipotenciální pospojování LPL I
- vnitřní silové vedení s lepšími ochrannými charakteristikami - $P_{SPD} = 0.002$
- vnitřní datové vedení s lepšími ochrannými charakteristikami - $P_{SPD} = 0.005$
- hasiči v areálu firmy \Rightarrow příjezd do 10 minut

Druhá varianta předpokládá ponechání původního přívodního silového vedení. Stupeň rizika je v tomto případě snížen na požadovanou hodnotu pomocí SPD s lepšími ochrannými charakteristikami, než uvádí LPL I.

Podle normy ČSN EN 62305-1 ed.2 je vrcholový proud pro LPL I 200 kA, což statisticky představuje 99% všech úderů blesků, resp. $P_{SPD} = 0.01$. Jestliže použijeme SPD (svodič bleskového proudu typu I), který je dle výrobce schopen odvádět vyšší proudy, pak můžeme dle poznámky 2 v tabulce B.3 normy ČSN EN 62305-2 ed.2 použít pro výpočet rizik nižší hodnotu P_{SPD} , konkrétně v intervalu 0.001 až 0.005. Přesnou hodnotu lze zjistit podle vrcholového bleskového proudu, který uvádí na svých výrobcích dodavatel. A následně odečíst z tabulky hodnoty pravděpodobnosti jako funkce bleskového proudu, která je uvedena v normě ČSN EN 62305-1 ed.2 jako tabulka A.3 hodnotu P_{SPD} . Tato varianta byla také konzultována s výrobcí SPD. Konkrétně byli osloveni technici firem Dehn, Saltek a OEZ, všichni potvrdili, že určité jejich svodiče bleskových proudů splňují (při správném zapojení) požadavek na vrcholový bleskový proud 400 kA, což odpovídá hodnotě $P_{SPD} = 0.002$. V přílohách je mailová korespondence k tomuto problému s techniky firem Dehn, OEZ a Saltek.

Proto bylo ve druhé variantě počítáno s těmito lepšími ochrannými charakteristikami SPD. Konkrétně pro silové vedení $P_{SPD} = 0.002$ a pro telekomunikační $P_{SPD} = 0.005$. S použitím 200 metrů přívodního nestíněného silového vedení. Ostatní parametry zadání jsou totožné jako ve variantě A. Výstup rizik pro tuto variantu počítán již jen pomocí Proziku, viz Tabulka 9. Celkové vypočítané riziko R_1 je asi $9 \cdot 10^{-6}$, což je menší než maximální přípustné riziko $1 \cdot 10^{-5}$.

Tabulka 9 - výstup rizik ze SW Prozik pro variantu B

	R_A	R_B	R_C	R_M	R_{LI}	R_{LV}	R_{WV}	R_Z	Celk. riziko	Příp. h.
R_1	1.061E-9	2.966E-7	1.784E-6	1.165E-9	7.826E-10	5.476E-8	1.803E-6	5.076E-6	9.018E-6	1.0E-5
R_2	—	0	0	0	—	0	0	0	0	1.0E-3
R_3	—	0	—	—	—	0	—	—	0	1.0E-3
R_4	0	5.226E-6	7.535E-6	4.627E-9	0	8.908E-7	7.787E-6	2.015E-5	4.16E-5	0

3.2.6. Odhad rozsahu ztráty L4 - ekonomické

Odhad rozsahu ztrát se počítá pro každou zónu zvlášť. Odhad je dle normy ČSN EN 62305-2 ed.2 počítán jen pro variantu A. Podle způsobu se ztráty dělí na:

- L_Bztráty související s hmotnou škodou (údery do stavby)
- L_Cztráty související s poruchou vnitřních systémů (údery do stavby)
- L_Mztráty související s poruchou vnitřních systémů (údery v blízkosti stavby)
- L_Vztráty související s hmotnou škodou (údery do inženýrské sítě)
- L_Wztráty související s poruchou vnitřních systémů (údery do inženýrské sítě)
- L_Zztráty související s poruchou vnitřních systémů (údery v blízkosti inženýrské sítě)

V případě stavby bez hospodářských zvířat lze ztráty L_A a L_U vynechat, pro každou zónu se ztráta vypočítá dle tabulky C.11 (ČSN EN 62305-2):

$$L_B = L_V = r_p \cdot r_f \cdot L_F \cdot \frac{c_b + c_c + c_s}{c_t} \quad (44)$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_0 \cdot \frac{c_s}{c_t} \quad (45)$$

- L_Ftypická střední procentní hodnota všeho majetku poškozeného hmotnou škodou v důsledku jedné nebezpečné události dle tabulky C.12 (ČSN EN 62305-2)
- L_Dtypická střední procentní hodnota všeho majetku poškozeného poruchou vnitřních systémů v důsledku jedné nebezpečné události dle tabulky C.12 (ČSN EN 62305-2)
- r_pčinitel snižující ztráty v důsledku hmotné škody v závislosti na opatření přijatých ke snížení následků požáru dle tabulky C.4 (ČSN EN 62305-2)
- r_fčinitel snižující ztráty v důsledku hmotné škody v závislosti na riziku požáru nebo riziku výbuchu stavby dle tabulky C.5 (ČSN EN 62305-2)
- c_bhodnota budov příslušející zóně
- c_chodnota obsahu zóny
- c_shodnota vnitřních systémů v zóně včetně jejich činností
- c_tcelková hodnota stavby

Tabulka 10 - zóny, uvažované ztráty a ostatní konstanty pro výpočet L4

zóna	L_F	L₀	r_p*	r_f	c_b [mil. Kč]	c_c [mil. Kč]	c_s [mil. Kč]	c_t [mil. Kč]
kanceláře	1	0.1	1	0.001	-	1	1	156
laboratoře bez nebezpečí výbuchu	1	0.1	1	0.001	5	2	30	156
nebezpečí výbuchu zóna 2	1	0.1	1	0.001	5	5	80	156
nebezpečí výbuchu zóna 1	1	0.1	1	0.1	5	2	20	156

*- ve stavbách s nebezpečím výbuchu je ve všech případech r_p = 1

Ve všech zónách je rozvedeno silové vedení, telekomunikační vedení není v zóně 1 nebezpečí výbuchu. Ekonomická ztráta v zóně „šatny“ je zanedbatelná, proto zde s ní není počítáno. Pro všechny uvedené zóny jsou uvažované ztráty typu L_B L_C L_M L_V L_W a L_Z.

3.2.6.1. Výpočet ztráty L4 pro kanceláře

$$L_B = L_V = 0.001 \cdot \frac{2}{156} = \underline{\underline{1.282 \cdot 10^{-5}}} \quad (46)$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = 0.1 \cdot \frac{1}{156} = \underline{\underline{6.41 \cdot 10^{-4}}} \quad (47)$$

3.2.6.2. Výpočet ztráty L4 pro laboratoře bez nebezpečí výbuchu

$$L_B = L_V = 0.001 \cdot \frac{37}{156} = \underline{\underline{2.372 \cdot 10^{-4}}} \quad (48)$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = 0.1 \cdot \frac{30}{156} = \underline{\underline{0.01923}} \quad (49)$$

3.2.6.3. Výpočet ztráty L4 pro zónu 2 nebezpečí výbuchu - laboratoře a výroba

$$L_B = L_V = 0.001 \cdot \frac{90}{156} = \underline{\underline{5.769 \cdot 10^{-4}}} \quad (50)$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = 0.1 \cdot \frac{80}{156} = \underline{\underline{0.05128}} \quad (51)$$

3.2.6.4. Výpočet ztráty L4 pro zónu 1 nebezpečí výbuchu - výroba

$$L_B = L_V = 0.1 \cdot \frac{27}{156} = \underline{\underline{0.01731}} \quad (52)$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = 0.1 \cdot \frac{20}{156} = \underline{\underline{0.01282}} \quad (53)$$

3.2.7. Odhad rizika R4 - ekonomické ztráty

Celkové riziko je suma dílčích rizik pro kombinace jednotlivých zón a jednotlivými vedeními. Přípustné riziko R_T pro ekonomické ztráty nelze jen tak určit, proto bude vypočítané riziko pro variantu A v porovnání s rizikem pro nechráněnou stavbu sloužit k ocenění nákladů na ztráty. Toto lze ovšem provést až po kalkulaci materiálu a ostatních nákladů na ochranu budovy před bleskem, tzn. nyní bude jen spočítáno ekonomické riziko chráněné a nechráněné stavby. Nicméně náklady na snížení rizika R1 (ztráty na lidských životech) budou v budově s nebezpečím výbuchu pravděpodobně tak vysoké, že následné určení rizika R4 asi nebude primárním cílem. Ochrana lidského života a zdraví je v případě výpočtu rizika větší prioritou než ekonomická stránka problému.

Podle způsobu se rizika dělí na:

- R_Briziko související s hmotnou škodou (úder do stavby)
- R_Criziko související s poruchou vnitřních systémů (úder do stavby)
- R_Mriziko související s poruchou vnitřních systémů (úder v blízkosti stavby)
- R_Vriziko související s hmotnou škodou (úder do inženýrské sítě)
- R_Wriziko související s poruchou vnitřních systémů (úder do inženýrské sítě)
- R_Zriziko související s poruchou vnitřních systémů (úder v blízkosti inženýrské sítě)

V následujících výpočtech budou zóny označeny indexem $i = 1$ až 5 a vedení indexem S jako silové a indexem T jako telekomunikační/datové:

$$R_B = N_D \cdot P_B \cdot \sum_{i=1}^5 L_{Bi} = 0.01441 \cdot 0.02 \cdot 0.01814 = \underline{\underline{5.228 \cdot 10^{-6}}} \quad (54)$$

$$R_C = N_D \cdot \left(P_{CS} \cdot \sum_{i=1}^5 L_{Ci} + P_{CT} \cdot \sum_{i=2}^4 L_{Ci} \right) =$$

$$0.01441 \cdot (0.01 \cdot 0.08397 + 0.01 \cdot 0.07115) = \underline{\underline{2.235 \cdot 10^{-5}}} \quad (55)$$

$$R_M = N_M \cdot \left(P_{M_S} \cdot \sum_{i=1}^5 L_{Mi} + P_{M_T} \cdot \sum_{i=2}^4 L_{Mi} \right) =$$

$$1.7208 \cdot (1.6 \cdot 10^{-7} \cdot 0.08397 + 0) = \underline{\underline{2.312 \cdot 10^{-8}}} \quad (56)$$

$$R_V = N_{L_S} \cdot P_{V_S} \cdot \sum_{i=1}^5 L_{Vi} + N_{L_T} \cdot P_{V_T} \cdot \sum_{i=2}^4 L_{Vi} =$$

$$0.004 \cdot 0.006 \cdot 0.01814 + 0.02 \cdot 0.01 \cdot 8.269 \cdot 10^{-4} = \underline{\underline{6.007 \cdot 10^{-7}}} \quad (57)$$

$$R_W = N_{L_S} \cdot P_{W_S} \cdot \sum_{i=1}^5 L_{Wi} + N_{L_T} \cdot P_{W_T} \cdot \sum_{i=2}^4 L_{Wi} =$$

$$0.004 \cdot 0.006 \cdot 0.08397 + 0.02 \cdot 0.01 \cdot 0.07115 = \underline{\underline{1.625 \cdot 10^{-5}}} \quad (58)$$

$$R_Z = N_{I_S} \cdot P_{Z_S} \cdot \sum_{i=1}^5 L_{Zi} + N_{I_T} \cdot P_{Z_T} \cdot \sum_{i=2}^4 L_{Zi} =$$

$$0.4 \cdot 0 \cdot 0.08397 + 2 \cdot 0 \cdot 0.07115 = \underline{\underline{0}} \quad (59)$$

$$R_4 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z = \underline{\underline{4.445 \cdot 10^{-5}}} \quad (60)$$

Součet rizika R_4 ekonomické ztráty je rovna asi $4.4 \cdot 10^{-5}$, což přibližně odpovídá hodnotě z Proziku, viz Tabulka 8. Hodnoty rizik R_4 pro druhou variantu a nechráněnou stavbu, viz Tabulka 9 a Tabulka 7 z Proziku.

Kalkulace nákladů na materiál je uvedena v kapitolách 3.3.6, 3.4.2 a 3.4.5. Dále předpokládáme, že náklady na materiál činí asi 50 % celkových nákladů (materiál + práce + režie). Celková cena investice bude mít úrokovou míru 4 %, odpisovou míru 2 % a míru údržby 5 %. Pro obě varianty návrhu jsou vyčísleny náklady a rizika, viz Tabulka 11.

Náklady na celkové ztráty:

$$C_L = R_4 \cdot c_t = 1.34 \cdot 10^{-2} \cdot 156000000 = \underline{\underline{2090400Kč}} \quad (61)$$

Náklady na zbytkové ztráty, s uvažováním ochranných opatření, pro obě varianty:

$$C_{RL}[A] = R'_4[A] \cdot c_t = 4.43 \cdot 10^{-5} \cdot 156000000 = \underline{\underline{6911Kč}}$$

$$C_{RL}[B] = R'_4[B] \cdot c_t = 4.16 \cdot 10^{-5} \cdot 156000000 = \underline{\underline{6490Kč}} \quad (62)$$

Roční náklady na ochranné opatření, pro obě varianty:

$$C_{PM}[A] = C_P[A] \cdot (i + a + m) = 2274000 \cdot (0.04 + 0.02 + 0.05) = \underline{\underline{250140Kč}}$$

$$C_{PM}[B] = C_P[B] \cdot (i + a + m) = 2214000 \cdot (0.04 + 0.02 + 0.05) = \underline{\underline{243540Kč}} \quad (63)$$

Roční úspora je odůvodněná, jestliže je větší než nula, pro obě varianty:

$$\begin{aligned} S_M[A] &= C_L - (C_{PM}[A] + C_{RL}[A]) = 2090400 - (250140 + 6910) = \underline{\underline{1833350\text{Kč} > 0}} \\ S_M[B] &= C_L - (C_{PM}[B] + C_{RL}[B]) = 2090400 - (243540 + 6490) = \underline{\underline{1840370\text{Kč} > 0}} \end{aligned} \quad (64)$$

C_Lnáklady na celkové ztráty ve stavbě

C_{RL}celková cena zbytkových ztrát

C_{PM}roční náklady na ochranné opatření

C_Pcena ochranných opatření (celkové náklady na ochranné opatření)

S_Mroční úspora s ochrannými opatřeními

iúroková míra

aodpisová míra

mmíra údržby

Z výsledků je patrné, že obě navržené varianty jsou ohledně nákladů prakticky totožné a s rezervou splňují podmínku, že roční úspory jsou kladné číslo. Dost přísná a nákladná opatření ochrany navržená z důvodu ochrany zdraví a života osob (primární cíl), splňují i ocenění nákladů na ztráty, a to zejména z toho důvodu, že cena zařízení (drahá technologie a moderní analytické přístroje) umístěného ve stavbě se pohybuje v řádech milionů korun.

Tabulka 11 - vstupní údaje pro ocenění nákladů na ztráty

Parametr	Varianta A	Varianta B
materiál vnější ochrana	597 600 Kč	597 600 Kč
materiál ochranné pospojování	410 967 Kč	410 967 Kč
materiál SPD	128 211 Kč	98 148 Kč
práce + režie	1 136 778 Kč	1 106 715 Kč
cena ochranných opatření C_P (zaokrouhlo na tisíce nahoru)	2 274 000 Kč	2 214 000 Kč
celková hodnota stavby c_t	156 000 000 Kč	156 000 000 Kč
koeficient rizika pro nechráněnou stavbu R4	$1.34 \cdot 10^{-2}$	$1.34 \cdot 10^{-2}$
koeficient rizika pro stavbu s navrženou ochranou R'4	$4.43 \cdot 10^{-5}$	$4.16 \cdot 10^{-5}$

3.3. Návrh vnější ochrany před bleskem

3.3.1. Jímací soustava

Na základě výpočtu řízeného rizika byla stavba průmyslové budovy zařazena do I. třídy LPS. Jedná se o stavbu nižší než 60 metrů, proto nebudou instalovány jímače po svislých stranách budovy. Pro návrh jímací soustavy bude využita metoda valící se koule (bleskové koule) s poloměrem 20 m, viz Tabulka 12.

Před návrhem jímací soustavy je třeba vybrat vhodný materiál jímačů a svodů s ohledem na korozi kovových částí, vodivost, hmotnost a cenu. Vzhledem k dostupnosti oddálených jímačů byly vybrány jímací tyče z hliníku na podpůrné trubce.

Tabulka 12 - maximální hodnoty poloměru valící se koule (ČSN 62305-3 ed.2 tab. 2) [12]

Třída LPS	Poloměr valící se koule r [m]
I	20
II	30
III	45
IV	60

U stavby s nebezpečím výbuchu je vhodné zamezit průniku bleskových proudů (byť jen částečných) do budovy. Jako vnější LPS byl zvolen elektricky izolovaný (oddálený) vnější LPS umístěný přímo na stavbě. Bude dodržena minimální dostatečná vzdálenost všech kovových předmětů stavby od svodů bleskových proudů.

Na střeše budovy jsou umístěny dvě strojovny vzduchotechniky, v jejichž okolí (rádius 4 metrů od středu vzduchotechniky) se nachází zóna 2 nebezpečí výbuchu. Proto jsou všechny jímače i svodiče umístěny mimo tyto zóny a současně v bezpečné vzdálenosti od kovových částí vzduchotechniky. Budovy nemá kovové okapy - odvod dešťové vody je řešen středem budovy v plastových odpadních KG potrubích. Povrch střechy je tvořen modifikovaným asfaltovým pásem Bituelast. Obvod střechy tvoří oplechovaná atika ve výšce 10 cm nad úrovní střechy - soustava svodů bude vedena v dostatečné vzdálenosti nad touto kovovou částí střechy.

Podle velikosti bleskové koule, vzdálenosti jímačů a oblastí zóny 2 nebezpečí výbuchu na střeše byla navržena síť jímačů, viz Obrázek 14. Rozpis vzdáleností jímačů a svodů na střeše jsou na výkresu 9 ve zvláštní příloze.

Hloubka propadu koule o poloměru r mezi dvěma body vzdálenými l metrů od sebe je:

$$h = r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2} = r - \sqrt{\frac{4r^2 - l^2}{4}} = r - \frac{1}{2}\sqrt{4r^2 - l^2} \quad (65)$$

A pro poloměr 20 metrů:

$$h = 20 - 0.5 \cdot \sqrt{1600 - l^2} \quad (66)$$

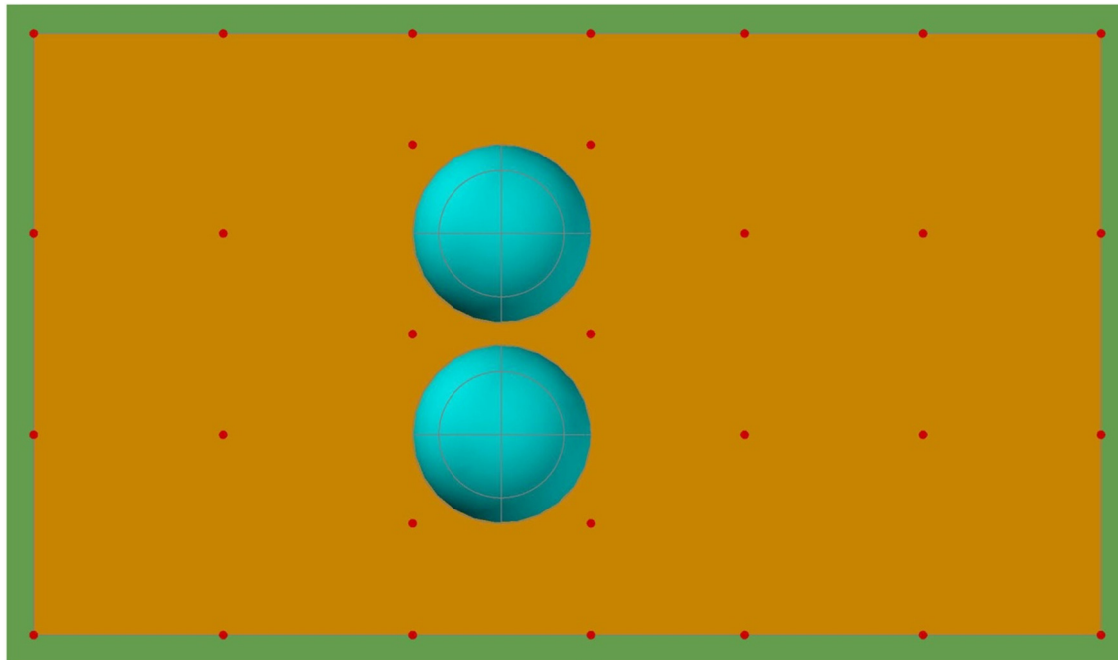
Největší rozptyl jímačů nad střechou je 8.5 x 9 metrů, což odpovídá úhlopříčce 12.4 metrů. Po dosazení do vzorce výše dostaneme propad koule:

$$h = 20 - 0.5 \cdot \sqrt{1600 - 12.4^2} = \underline{\underline{0.99\,m}} \quad (67)$$

Největší rozptyl jímačů nad zónou 2 výbuchu je 8.5 x 8 metrů, což odpovídá úhlopříčce 11.7 metrů. Po dosazení do vzorce výše dostaneme propad koule:

$$h = 20 - 0.5 \cdot \sqrt{1600 - 11.7^2} = \underline{\underline{0.88\,m}} \quad (68)$$

Okraje budovy jsou vysoké 15 metrů, tzn. při poloměru bleskové koule 20 metrů se tato vždy nejprve dotkne krajních jímačů. Výška jímačů bude minimálně ve výšce 1.5 metrů nad střechou, výška šesti jímačů v okolí vzduchotechniky bude ve výšce minimálně 1 metr nad ní, tj. minimálně ve výšce 3 metry nad střechou. Délky jímacích tyčí budou následně doplněny podle výpočtu bezpečné vzdálenosti svodů a s tím souvisejícího zvednutí sítě svodů nad střechou.



Obrázek 14 - rozvržení jímačů na střechě (modře zóna 2 výbuchu)

3.3.2. Soustava svodů

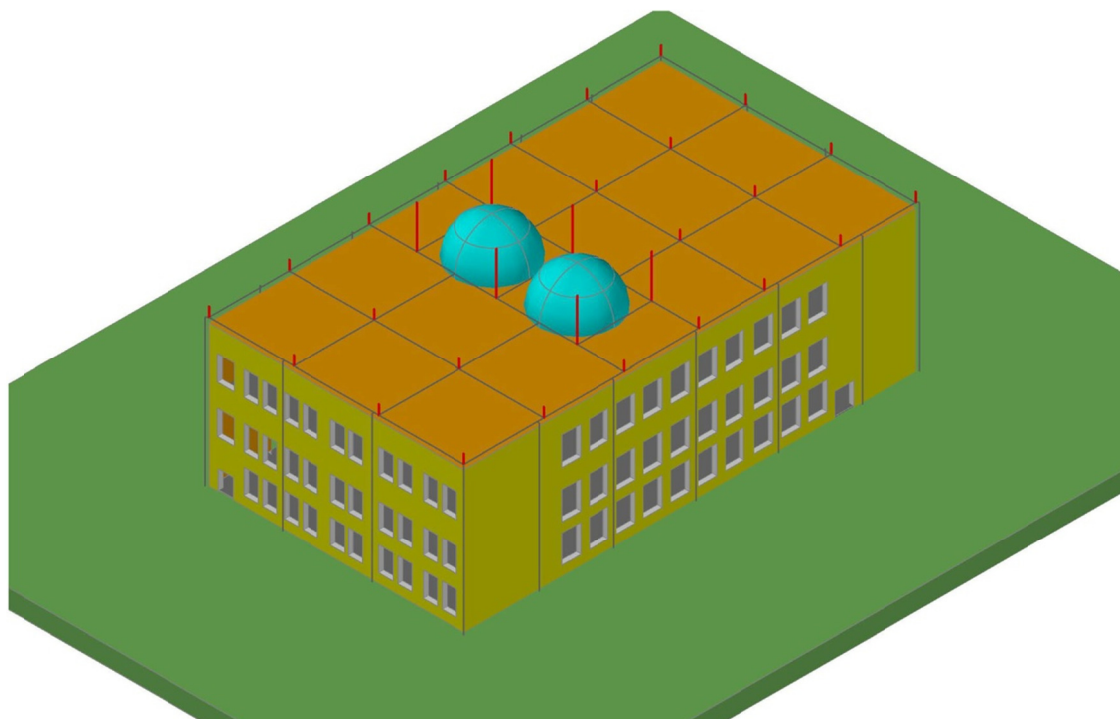
Pro LPS I by vzdálenost mezi svody neměla být menší než 10 metrů, viz. Tabulka 13. Za dodržení tohoto požadavku a s ohledem na umístění oken a dveří byly svody víceméně rovnoměrně rozmístěny podél celé budovy. Na střeše byly svody spojeny podle navržené sítě jímačů, viz **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** a Obrázek 16. Rozpis vzdáleností svodů ze všech čtyř světových stran jsou na výkresech 10 - 13 ve zvláštní příloze.

Sít' vodorovných svodů na střeše je, vzhledem k možnosti vzniku agresivní atmosféry nad střechou, z nerezového drátu průměru 8 mm. Celá tato sít' bude umístěna na izolačních tyčích délky odpovídající vypočítané dostatečné vzdálenosti.

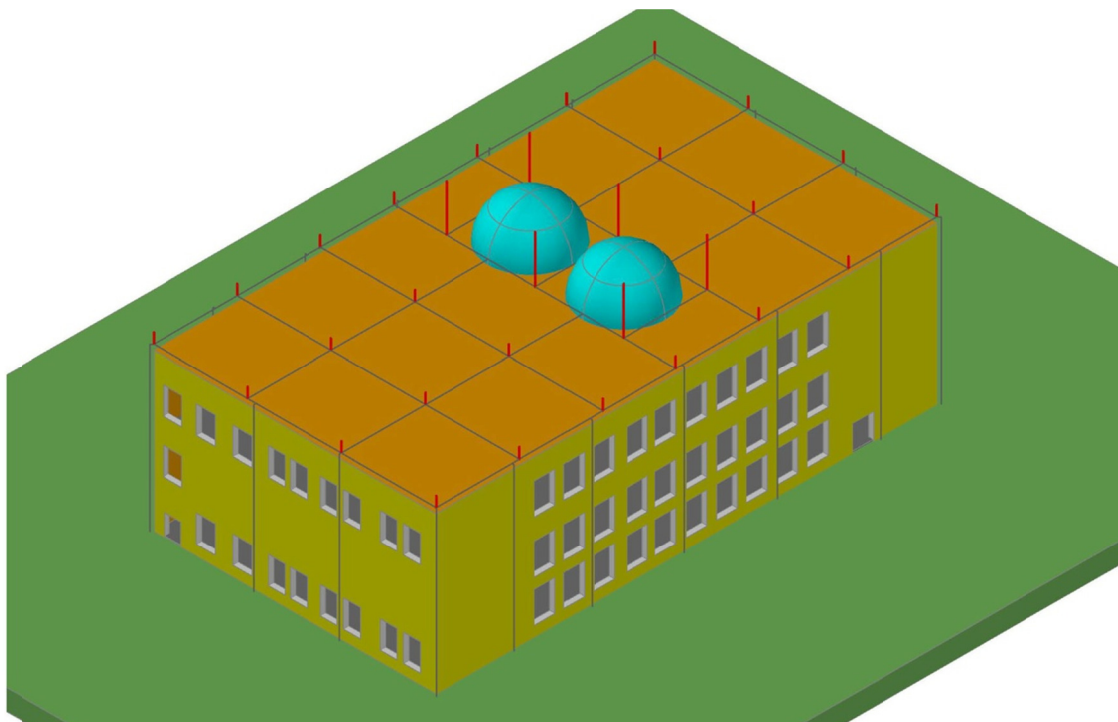
Svislé svody budou podle vypočítané dostatečné vzdálenosti buď umístěny také na izolačních podpěrách na zdi, nebo bude použito HVI vodičů.

Tabulka 13 - typické hodnoty vzdáleností mezi svody podle třídy LPS
(ČSN EN 62305-3 ed. 2, tabulka 4) [12]

Třída LPS	Obvyklé vzdálenosti [m]
I	10
II	10
III	15
IV	20



Obrázek 15 - rozvržení jímačů a svodů - JZ pohled



Obrázek 16 - rozvržení jímačů a svodů - SV pohled

3.3.3. Výpočet dostatečné vzdálenosti

Pro výpočet dostatečné vzdálenosti se používá následujícího vzorce:

$$s = k_i \cdot \frac{k_c}{k_m} \cdot l \quad (69)$$

kde je:

k_i koeficient závislý na zvolené třídě LPS, pro LPS I. je $k_i = 0.08$

k_m koeficient materiálu elektrické izolace, pro vzduch $k_m = 1$, pro izolovanou podpěru oddáleného hromosvodu $k_m = 0.75$

l délka svodu v metrech

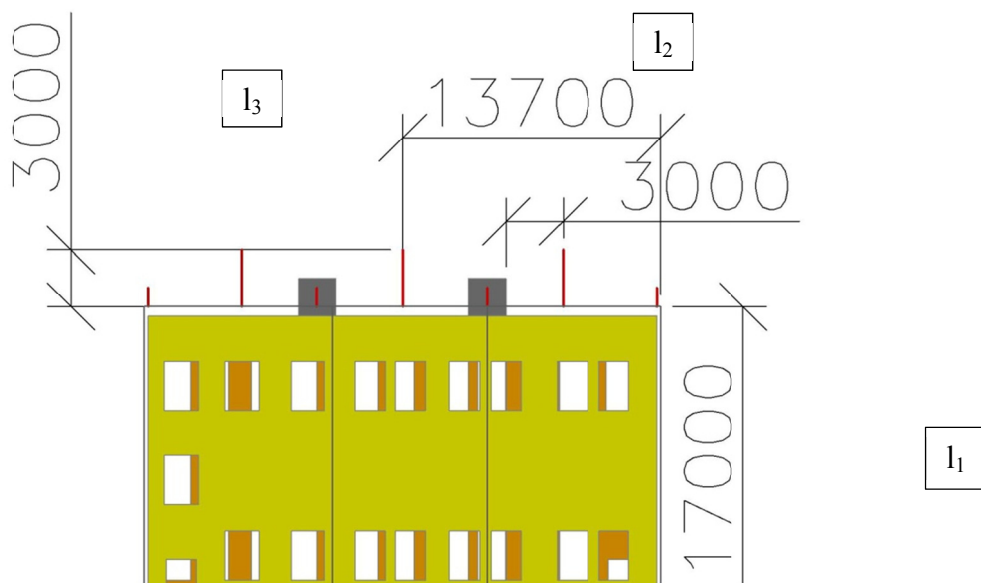
k_c geometrický koeficient, pro samostatný jímač $k_c = 1$, pro případ soustavy mnoha propojených svodů:

$$k_c = \frac{1}{2n} + 0.1 + 0.2 \cdot \sqrt[3]{\frac{c}{h}} \quad (70)$$

n celkový počet svodů - 18 svodů

c vzdálenost mezi svody [m] - nejhorší případ je 9 m

h vzdálenost (výška) mezi obvodovými vodiči [m] - nejhorší případ je 15 m



Obrázek 17 - rozměry mezi svody pro výpočet dostatečné vzdálenosti

Vypočítáme tři dostatečné vzdálenosti: s_1 pro dostatečnou vzdálenost svodů od zdi budovy, součet $s_1 + s_2$ pro dostatečnou vzdálenost soustavy vodorovných svodů od povrchu střechy a součet $s_1 + s_2 + s_3$ pro určení dostatečné vzdálenosti mezi jímací soustavou a kovovou součástí střechy (vzduchotechniky na budově), viz Obrázek 17.

$$k_c = \frac{1}{2n} + 0.1 + 0.2 \cdot \sqrt[3]{\frac{c}{h}} = \frac{1}{2 \cdot 18} + 0.1 + 0.2 \cdot \sqrt[3]{\frac{9m}{15m}} = \underline{\underline{0.296464}} \quad (71)$$

Všechny vzdálenosti budou nejprve počítány pro vzduch a následně případně upraveny pro jiné materiály:

$$s_1 = 0.08 \cdot \frac{0.2965}{1} \cdot 17m = \underline{\underline{0.40m}} \quad (72)$$

$$s_2 = 0.08 \cdot \frac{0.2965}{1} \cdot 13.7m = \underline{\underline{0.32m}} \quad (73)$$

$$s_3 = 0.08 \cdot \frac{1}{1} \cdot 3m = \underline{\underline{0.24m}} \quad (74)$$

Vzdálenost svodů od stěny musí být minimálně 40 cm. Vzhledem k blízkosti oplechování oken, ocelové výztuže železobetonového věnce budovy a v neposlední řadě k blízkosti svodů u dveří do budovy, byly pro všechny svody (od obvodového vodiče po zemnicí pás) vybrány vodiče HVI light (Dehn). Tyto vodiče nejenže poskytují ekvivalent dostatečné vzdálenosti pro vzduch 45 cm a jsou vhodné pro bleskový proud 100 kA. V našem případě, kdy nepoužíváme HVI vodič pro svod z jednoho stožáru, ale pro soustavu 18 svislých svodů, kdy se bleskový proud může mezi jednotlivé svody rozdělit, je i hodnota 100 kA pro jeden svod plně dostačující pro třídu LPL I.

Dostatečná vzdálenost soustavy vodorovných svodů od povrchu střechy je:

$$\frac{0.40 + 0.32}{0.7} = 1.03 \text{ m}$$

Soustava vedení nad střechou bude umístěna na izolačních tyčích

délky jeden metr.

Dostatečná vzdálenost (nejhorší případ) je pro 3 metrový jímač v okolí vzduchotechniky. Jelikož tento jímač bude přidržován izolovaným držákem pro jímací tyč, musíme taktéž počítat s $k_m =$

$$0.75: \frac{0.40 + 0.32 + 0.24}{0.7} = 1.4 \text{ m}$$

Vzdálenost 1.4 metru je v bez problému dosažena, protože

nejbližší vzdálenost jímače od vzduchotechniky je 3 metry.

Na závěr je ještě uveden výpočet dostatečné vzdálenosti $s_1 + s_2$ ve vzduchu pomocí freewaru firmy Dehn, pro porovnání shody mezi výsledky.

Milanův výpočet dostatečné vzdálenosti - mřížová soustava č.1

Vypočti **Konec**

Třída LPS
☒ LPS I ☐ LPS II ☐ LPS III ☐ LPS IV

Izolující materiál
☐ zdivo, beton ☒ vzduch

koeficient $k_i =$ 0,08 koeficient $k_m =$ 1

Rozměry budovy
 šířka a: 27.00 m výška h: 15.00 m
 délka b: 48.00 m

Parametry mřížové soustavy
 počet polí mezi svody: strana A: 3 strana B: 6

Počet svodů celkem: 18 koeficient $k_c =$ 0.2964643

rozteče: C1: 9.00 C2: 8.00 m

Vzdálenost L: 30.70 m inkrement:

Dostatečná vzdálenost S: 0.7281164 m

Výpočetní program č. D 01 verze 2.01
 pro výpočet dostatečné vzdálenosti u mřížové soustavy
 s uzemňovací soustavou typu B

Vzniklo za podpory Elektrotechnické společnosti ČR Pro potřeby školního
 hromosvodářského střediska v Chomutově: www.kniska.eu/centrum

Ing. Milan Kaucký - K. M. Technik
 Spolupráce s ESČR
 Člen TLPC

Elektrika.cz
 elektroinstalace každý den

kniska
 www.kniska.eu

Software volně ke stažení na www.kniska.eu Po registraci budete upozorňováni na nové verze.

Obrázek 18 - výpočet dostatečné vzdálenosti $s_1 + s_2$ pomocí SW Kaucký

3.3.4. Návrh uzemňovací soustavy

U staveb s nebezpečím výbuchu je upřednostňován zemnič typu B. V našem případě se bude jednat o základová zemnič z nerezového pásku o minimálním průřezu 100 mm^2 a minimální tloušťce 2 mm, podle tabulky 7 ČSN EN 62305-3 ed. 2. Konkrétně se bude jednat pásek z korozivzdorné oceli V4A, průřezu (30 x 3.5) mm (Dehn 860335). Uzemnění bude umístěno v základech stavby v hloubce asi jednoho metru a spojeno se všemi svody HVI vodiče. Mimo to bude zemnič spojen s ekvipotenciální přípojnici. Veškeré spoje v zemi budou dostatečně antikorozně ošetřeny.

Uložení zemniče a jeho napojení na obvodové jímáče - viz Obrázek 19. Rozpis vzdáleností zemničů jsou na výkresu 8 ve zvláštní příloze.

U základového zemniče nesmí být střední poloměr plochy r_e , která je uzavřena základovým zemničem, menší než hodnota l_1 , viz Obrázek 20. Jestliže by byla požadovaná hodnota l_1 větší než odpovídající hodnota r_e , musel by být dodatečně instalován vodorovný nebo svislý zemnič.

$$r_e \geq l_1$$

střední poloměr plochy zemniče r_e :

$$a \cdot b = S = \pi \cdot r_e^2 \quad \Rightarrow \quad r_e = \sqrt{\frac{a \cdot b}{\pi}} = \sqrt{\frac{27 \text{ m} \cdot 48 \text{ m}}{\pi}} \doteq 20.3 \text{ m} \quad (75)$$

Podle těchto rovnic a s použitím grafické závislosti minimální délky zemniče (respektive minimálního středního poloměru plochy zemniče) na měrné rezistivitě půdy pro LPL I, viz Obrázek 20, můžeme určit, že maximální rezistivita půdy pro náš případ může být až $1000 \Omega\text{m}$. Přitom střední hodnota rezistivity půdy, na níž se nachází zmíněná stavba, by měla být maximálně $500 \Omega\text{m}$, viz Tabulka 14.

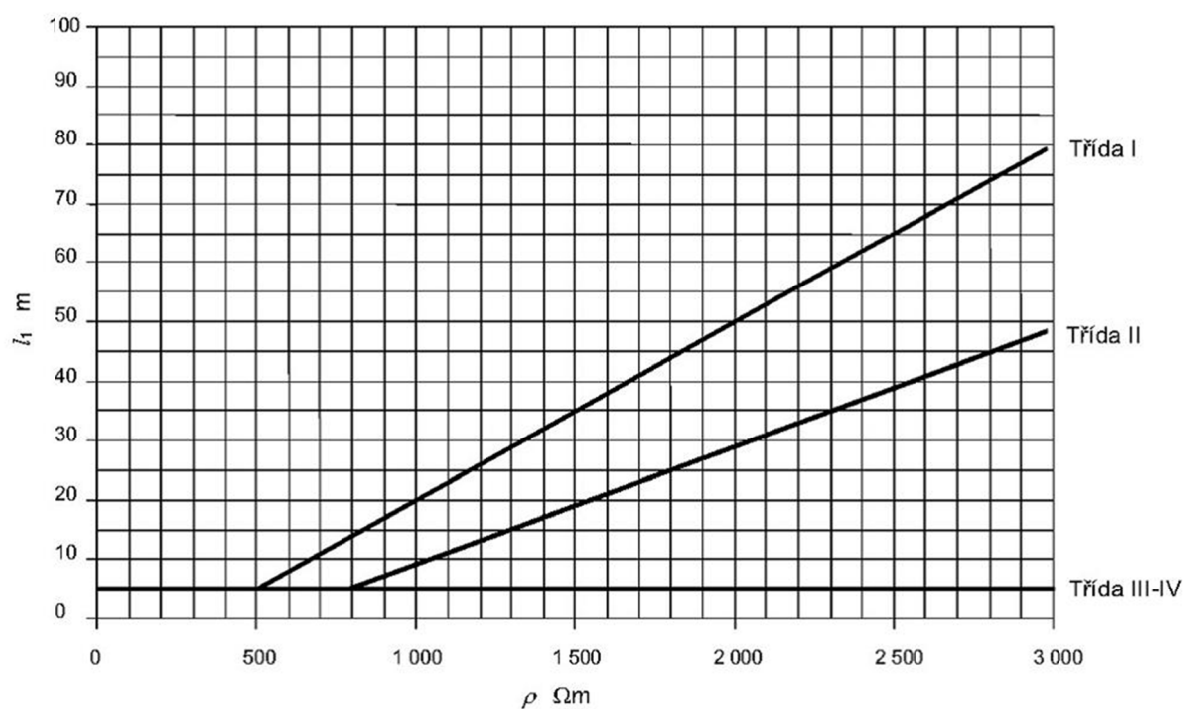
Navrhovaná uzemňovací soustava je dostačující, jak z hlediska zemního odporu, tak z hlediska korozivní odolnosti. Zemniče budou spojeny se základovými kari sítěmi s oky 20 x 20 cm.

Tabulka 14 - střední hodnoty rezistivity běžných druhů půd dle ČSN 33 2000-5-54 [29]

Druh zeminy	Rezistivita Ωm
Rašelina	30
Ornice	100
Vlhký písek	200 - 300
Vlhký štěrk	300 - 500
Suchý písek nebo štěrk	1000 - 3000
Suchá kamenitá půda	3000 - 10000



Obrázek 19 - uložení zemniče



Obrázek 20 - minimální délka l_1 zemniče podle třídy LPS rezistivity půdy [4]

3.3.5. Metoda valící se koule (bleskové koule)

Ze všech metod uznávaných pro výpočet ochranného prostoru metoda bleskové koule nejdůsledněji respektuje rozvoj blesku pomocí vyhledávacího výboje. Podkladem pro stanovení souvisejících parametrů byla rozsáhlá analýza bleskových výbojů do velkých objektů.

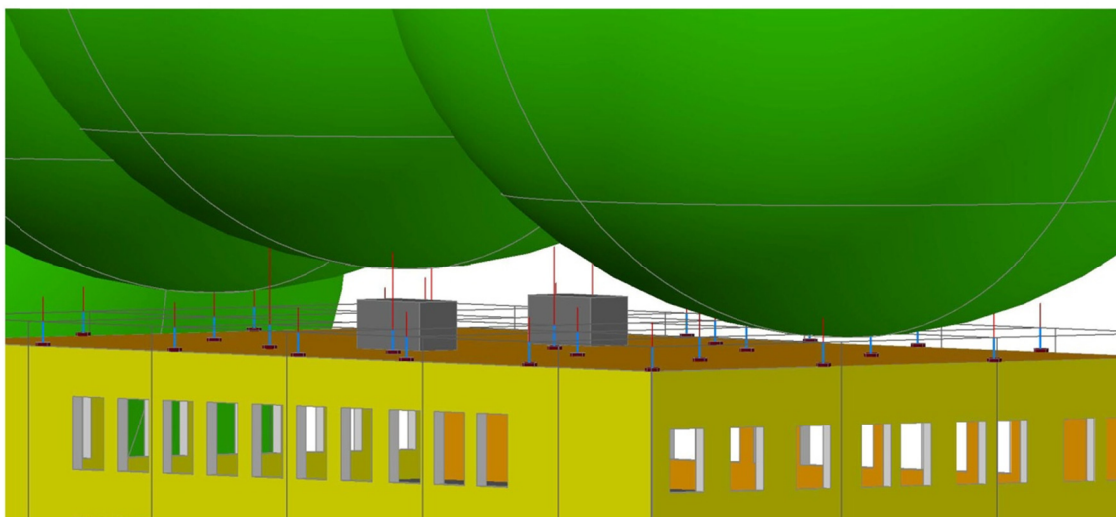
Ochranný prostor je u této metody tvořen pomyslným pohybem koule po zemském povrchu. Při jejím odvalování dochází ke kontaktu s jímači a obvodem staveb. Cílem návrhu ochranného systému je proto zamezit přímému kontaktu povrchu koule s povrchem chráněného objektu. Poloměr použité bleskové koule závisí na zařazení chráněného objektu do třídy ochrany před bleskem.

Prostor vytvořený odvalováním koule je menší než prostor tvořený vnější obrysovou křivkou danou ochranným úhlem. Lze tedy říci, že návrh ochranného systému metodou bleskové koule je přísnější.

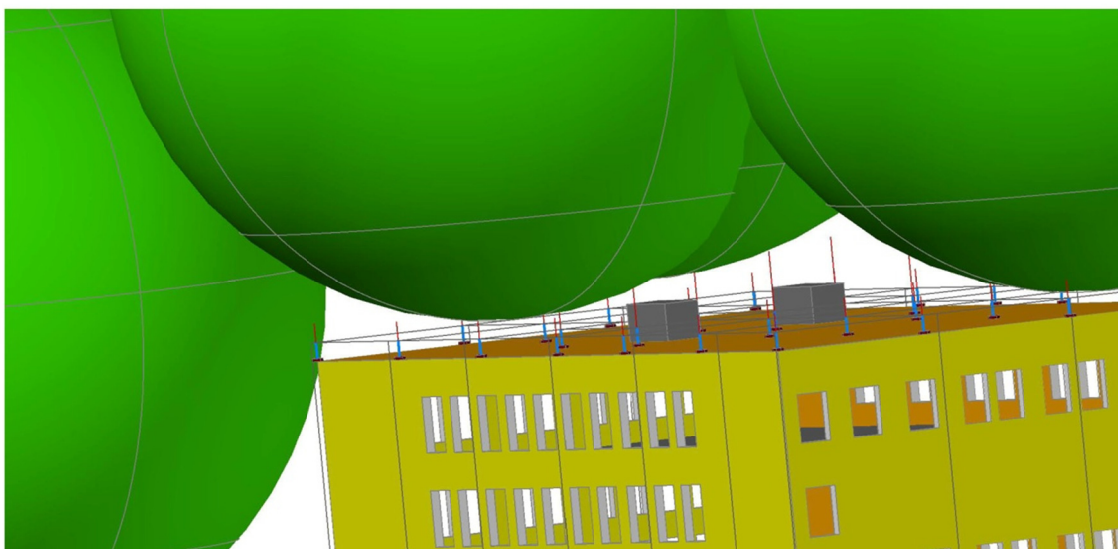
V kapitole 3.3.1 byl popsán hrubý výpočet sítě jímačů pro bleskovou kouli průměru 20 metrů, odpovídající LPL I. Z katalogu Dehn byly vybrány nejbližší vhodné oddálené jímače: Šest jímačů pro okolí vzduchotechniky celkové délky 4200 mm (3200 mm podpurná trubka a 1000 mm jímací tyč) a ostatní s celkovou délkou 2000 mm (izolační délka 975 mm).

Přes tuto jímací soustavu byla pomocí AutoCADu ve 3D grafice z několika stran převalena blesková koule a bylo prakticky prokázáno, že objekt je ve všech jeho částech chráněn, viz pár pohledů na - Obrázek 21, Obrázek 22 a Obrázek 23.

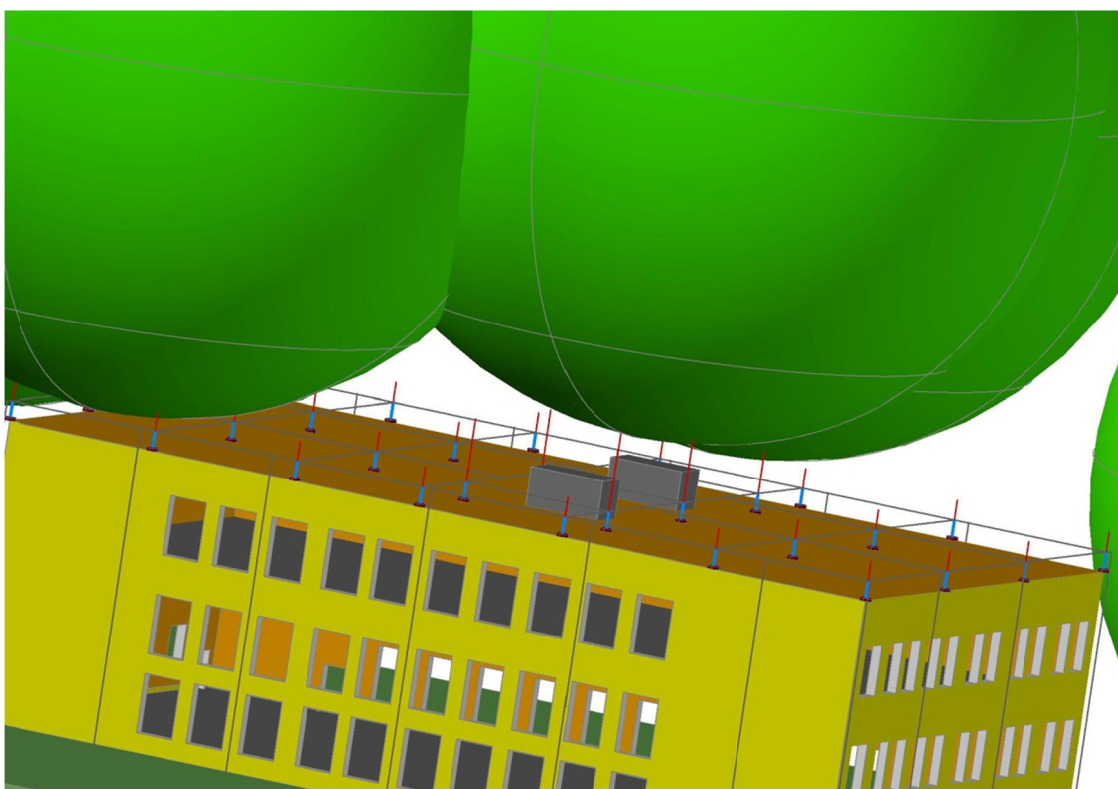
Další obrázky bleskové koule jsou na výkresech v příloze v souboru označeném blesková koule.



Obrázek 21 - zobrazení valící se bleskové koule přes objekt



Obrázek 22 - zobrazení valící se bleskové koule přes objekt



Obrázek 23 - zobrazení valící se bleskové koule přes objekt

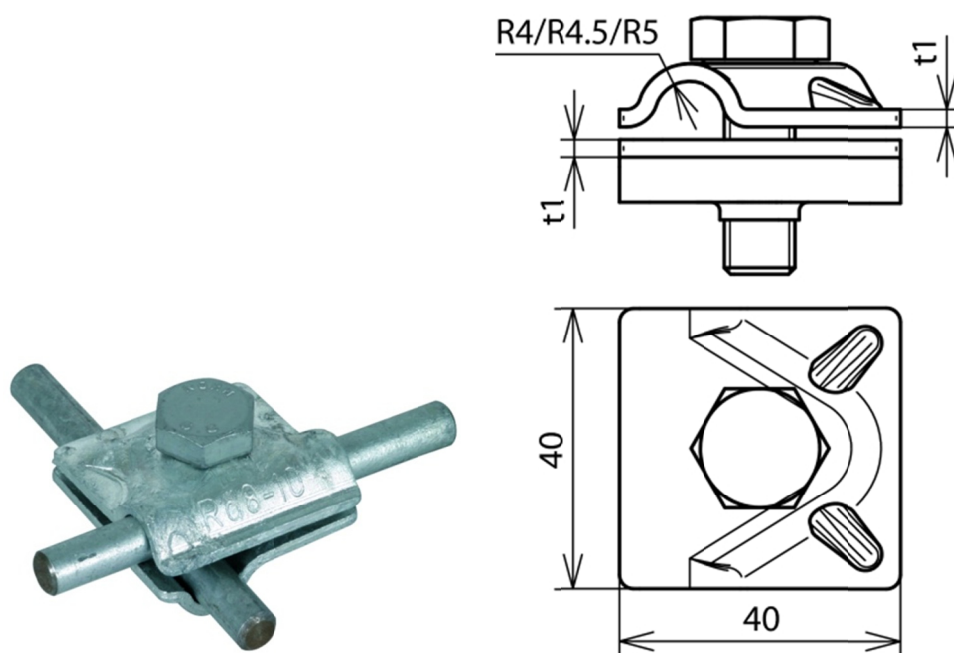
3.3.6. Popis a soupis materiálu pro vnější ochranu před bleskem

Veškerý materiál pro vnější ochranu před bleskem je od firmy Dehn:

Pro vodorovné svody na úrovni střechy je použit nerezový drát o průměru 8 mm. Z důvodu možného agresivního prostředí je použit drát z korozivzdorné oceli V4A (číslo materiálu 1.4571/1.4404) s obsahem molybdenu $> 2 \%$ a měrnou hmotností 0.4 kg na metr délky. S pevností v tahu 400-730 N/mm² a maximální rezistivitou 0.8 $\mu\Omega$ m.

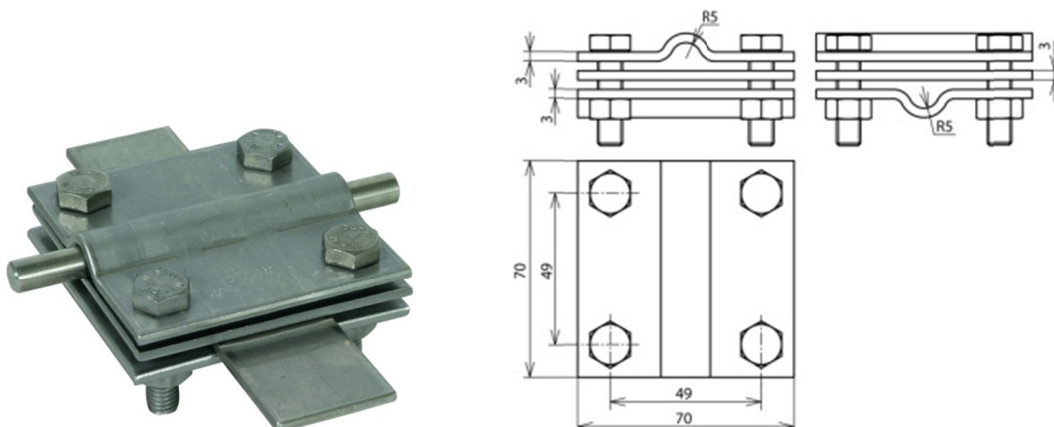
Pro uzemnění typu B je použit zemnicí pásek z korozivzdorné oceli o průřezu (30 x 3.5) mm. Pro uzemňování vedení a spoje uložené v zemi je doporučen pásek z korozivzdorné oceli V4A (číslo materiálu 1.4571/1.4404) s obsahem molybdenu $> 2 \%$. Měrná hmotnost je asi 0.82 kg na metr délky. S pevností v tahu 400-730 N/mm² a maximální rezistivitou 0.8 $\mu\Omega$ m.

Pro křížové, paralelní a sousé spojení vodičů svodů mezi sebou je použito univerzálních svorek MV se šroubem M10 s šestihrannou hlavou. Z důvodu možného agresivního prostředí je použit materiál korozivzdorné oceli V4A. Hmotnost jedné svorky je 96 g a rozměry uvedenými na - Obrázek 24:



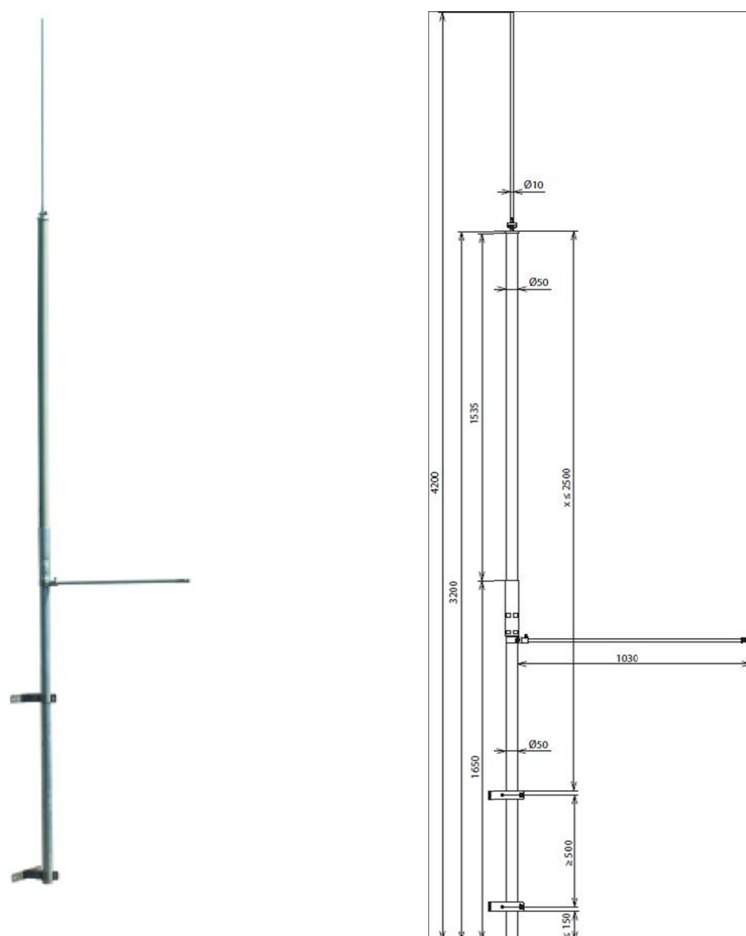
Obrázek 24 - univerzální svorka MV [17]

Pro spojení pásového vodiče v zemi a napojení svodů na pásové vodiče je použita křížová svorka pro spoje nad zemí a v zemi, se středovou destičkou pro dva kruhové vodiče a pásový vodič se šířkou do 40 mm. Pro uzemňování vedení a spoje uložené v zemi je doporučen materiál z korozivzdorné oceli V4A. Hmotnost jedné svorky je 409 g a rozměry uvedenými na Obrázek 25.



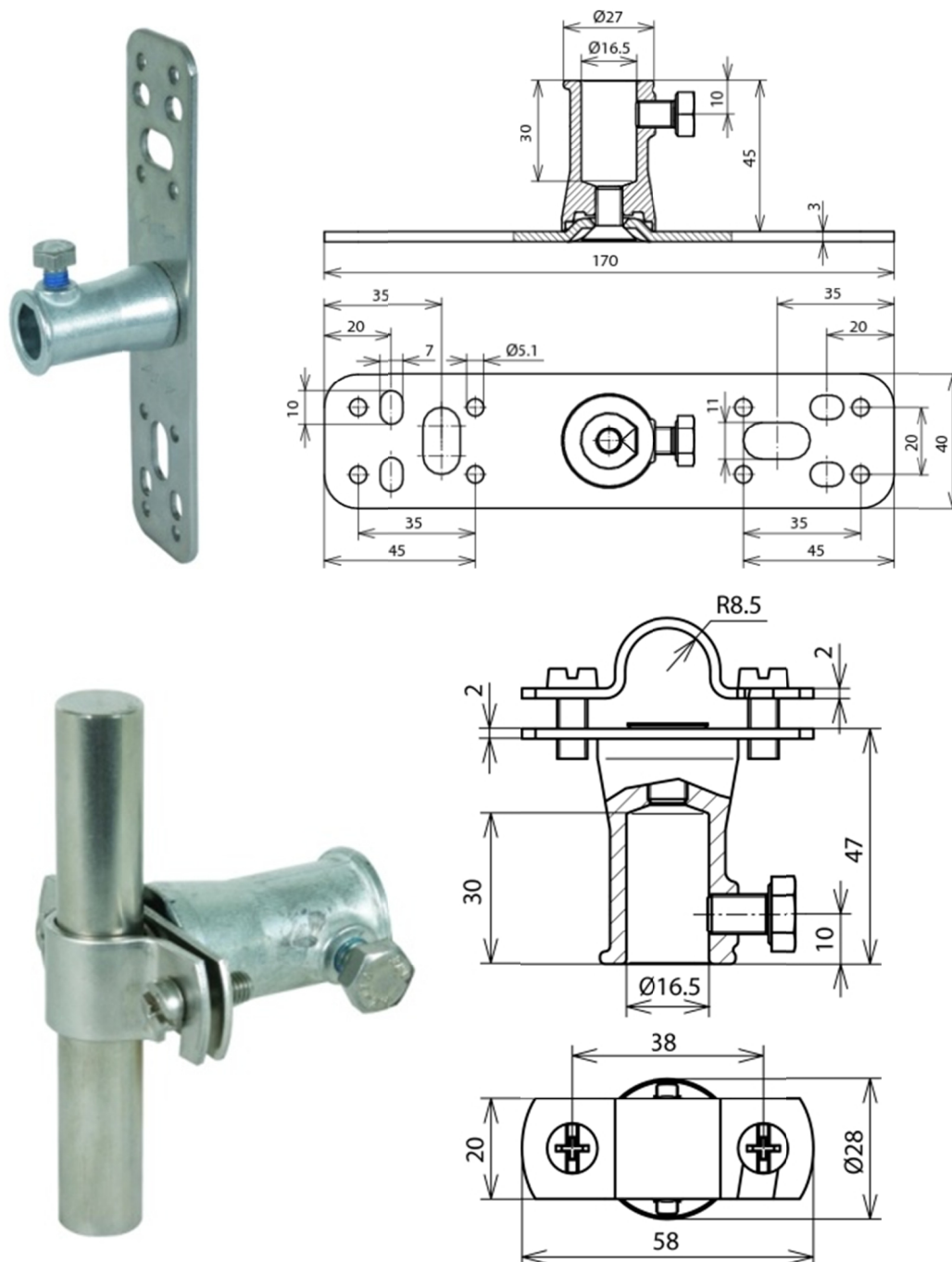
Obrázek 25 - univerzální svorka MV [17]

Pro šest jímáčů v okolí vzduchotechniky je použito jednodílného stožáru o celkové délce 4200 mm, z toho je délka podpůrné trubky 3200 mm. Materiálem podpůrné trubky je tzv. GFK - plast vyztužený skelnými vlákny - pevný a lehký. Je to součást pro instalaci oddáleného (izolovaného) jímacího zařízení umístěných na střeše. Pro stanovení dostatečné vzdálenosti je potřeba zadat koeficient $k_m = 0.7$. Hmotnost celé sestavy je 7.64 kg a rozměry jsou uvedeny na - Obrázek 26.



Obrázek 26 - Jímáč 4200 mm [17]

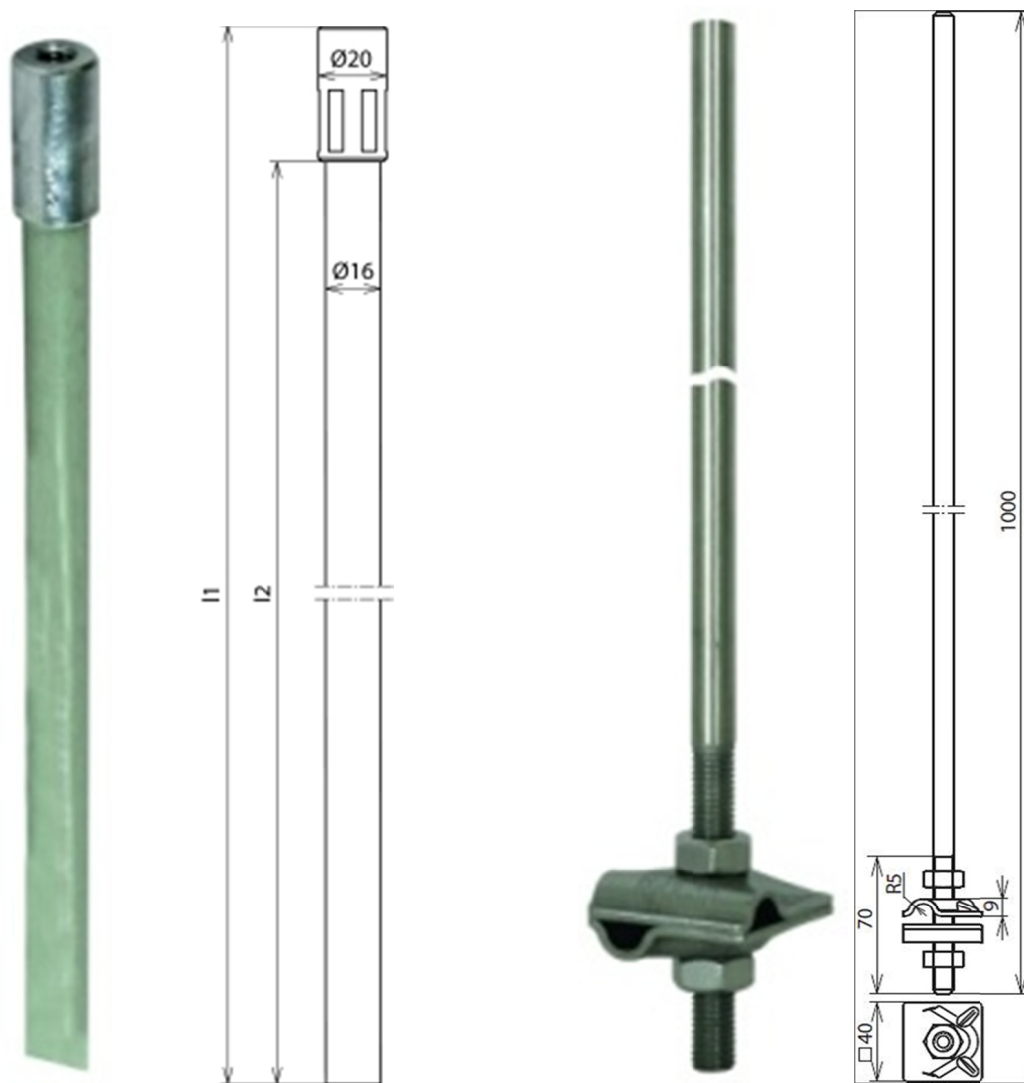
Pro upevnění těchto šesti jímacích tyčí jsou použity izolační tyče z materiálu GFK, průměru 16 mm, délky 3 m a hmotnosti 1.15 kg. Na upevnění těchto tyčí ze strany vzduchotechniky je použita montážní deska k upevnění izolovaných držáků a izolačních tyčí průměru 16 mm na stěnách a konstrukcích, hmotnosti 228 g. A na spojení s jímacími tyčemi slouží držák tyče průměru 16 mm se zdíčkou pro izolační tyče 16 mm, opět v nerez a s hmotností 135 g. Rozměry obou držáků jsou uvedeny níže, viz Obrázek 27.



Obrázek 27 - upevnění izolačních tyčí [17]

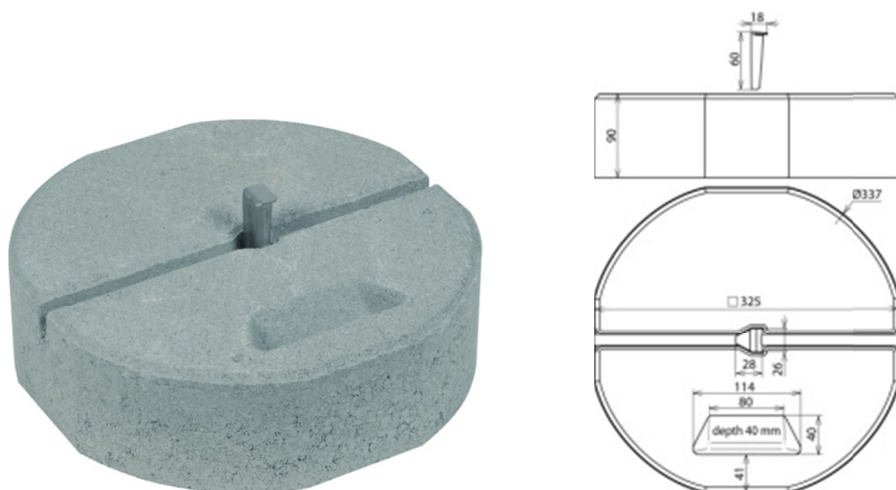
Pro ostatní, metr vysoké jímače jsou použity izolované jímače s adaptérem. Adaptér stejně jako u 4200 mm vysoké sestavy je z GFK s hliníkovou zdírkou. Celková délka izolační tyče je 1015 mm, hmotnost 410 g. Je určený pro jímací tyč se svorkou MV v místech křížení jímacího vedení. Pro stanovení dostatečné vzdálenosti je potřeba zadat koeficient $k_m = 0.7$.

Na tento izolovaný jímač je našroubován jímací hrot se závitem M10 a se svorkou MV. Jímač je z nerezové oceli. Rozměry izolovaného jímače i jímacího hrotu jsou uvedeny níže, viz Obrázek 28.



Obrázek 28 - izolovaný jímač 1000 mm [17]

Pro všechny jímací tyče budou použity 17 kg betonové podstavce s klínem. Jsou určeny pro jímací tyče k ochraně menších střešních nástavb na plochých střechách. Je je možno vrstvit na sebe - pro dvoumetrové jímače bude použit vždy jeden podstavec, pro čtyřmetrové jímače v okolí vzduchotechnik budou položeny vždy tři podstavce na sobě (celkem 51 kg základ). Materiál klínu je nerezová ocel. Rozměry jsou uvedeny níže, viz Obrázek 29:

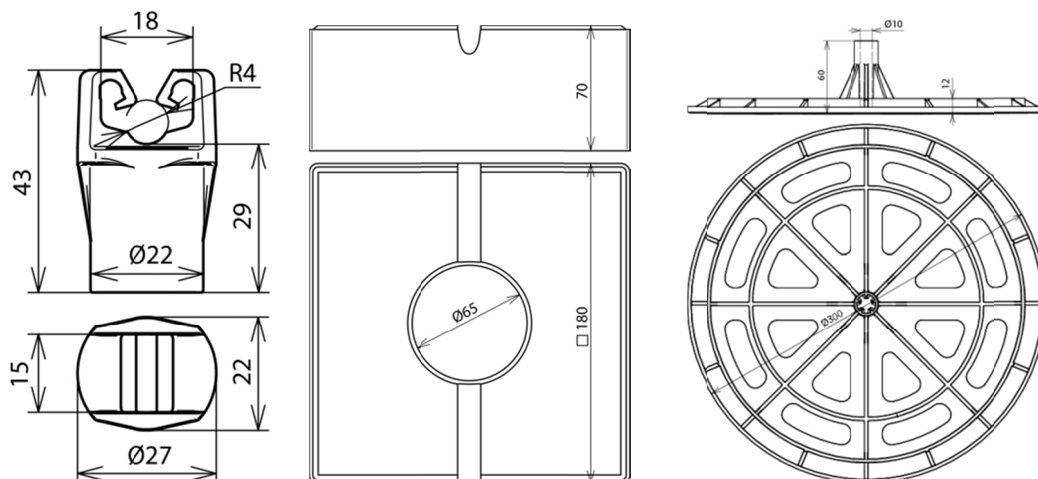


Obrázek 29 - podpěra jímačů [17]

Pro vyvýšení horizontální soustavy svodů do vypočítané dostatečné vzdálenosti nad střechu, tj. jeden metr nad povrch střechy, bude použit set podpěr vedení DEHNiso, sestávající z: plastového držáku vedení pro drát průměru 8 mm s adaptérem pro upevnění na izolační tyč 10 mm, izolační tyče průměru 10 mm z materiálu GFK, 4.6 kg čtvercové betonové zátěže na ploché střechy a montážní základny pro montáž podpěr vedení DEHNiso na betonové, lepenkové nebo plechové střechy. Rozměry jednotlivých dílů sestavy jsou uvedeny níže, viz Obrázek 30 a Obrázek 31:



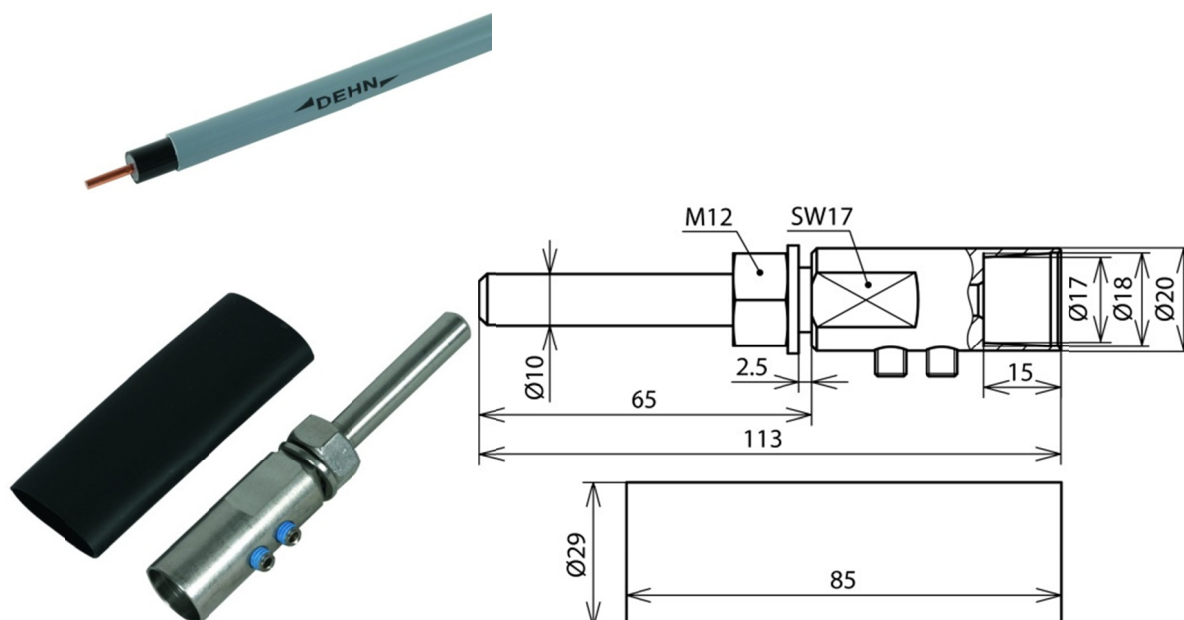
Obrázek 30 - podpěra soustavy horizontálních svodů [17]



Obrázek 31 - podpěra soustavy horizontálních svodů [17]

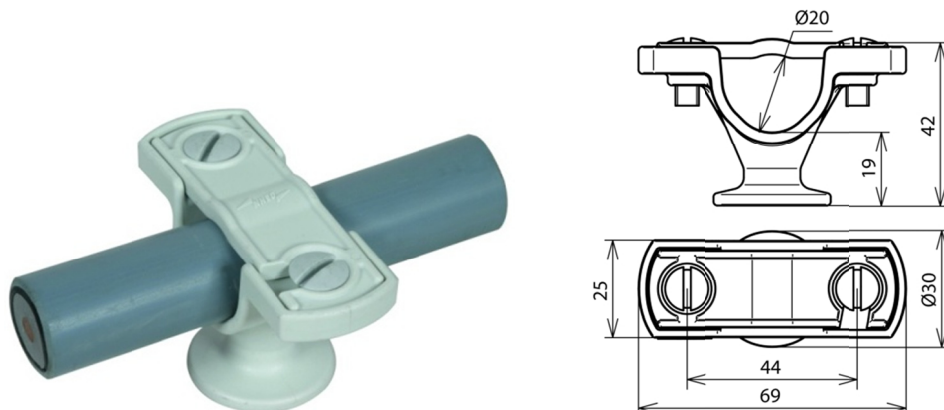
Pro svody je z důvodu dodržení dostatečné vzdálenosti, blízkosti oplechování oken a dveří u svodů použit vodič HVI. Pro náš případ postačuje vodič HVI light pro dostatečnou vzdálenost ve vzduchu 45 cm a maximální bleskový proud 100 kA. Jedná se o měděný vodič s PE izolací a PVC pláštěm s vnějším průměrem 20 mm. Průřez měděného jádra 19 mm^2 .

Pro připojení vodiče HVI na svorky sítě vodorovných svodů na střeše a na svorky zemniče je zapotřebí připojovacího prvku k vodiči HVI light. Připojovací prvek slouží k ukončení vodiče na obou stranách, obsahuje teplem smrštiteľnou izolační bužírku. Materiál nerez, průměr výstupního svorníku 10 mm, hmotnost 139 g. Rozměry na - Obrázek 32:



Obrázek 32 - HVI vodič s koncovkou [17]

Pro ukotvení HVI vodiče na stěnu slouží podpěra vedení s platovou podložkou. Materiál PA, pro vodiče s vnějším průměrem 20 mm. Rozměry viz Obrázek 33:



Obrázek 33 - ukotvení HVI vodiče na stěnu [17]

Tabulka 15 - Soupiska materiálu pro vnější ochranu před bleskem

Položka	kat. č.	množství (jednotka)	cena za jednotku [Kč]	cena celkem [Kč]
Drát z korozivzdorné oceli V4A, 8 mm	860008	400 (m)	253.20	101 280
Pásek z korozivzdorné oceli V4A (30 x 3.5 mm)	860335	260 (m)	442.20	114 972
Svorka MV se šroubem M10 z korozivzdorné oceli V4A	390079	60 (ks)	117.90	7 074
Svorka pro spoje v zemi	319229	30 (ks)	227.40	6 822
Jednodílný stožár 4200 mm	105440	6 (ks)	6 164.40	36 987
Izolační tyč izolovaných držáků 3000 mm	106125	12 (ks)	975.40	11 705
Držák na stěnu se zdírkou	106127	12 (ks)	225.40	2 705
Držák tyče se zdírkou	106129	12 (ks)	183.80	2 206
Jímač GFK/Al s adaptérem 1015 mm	106220	24 (ks)	469.90	11 278
Jímací hrot se svorkou MV 1000 mm	105071	24 (ks)	321.70	7 721
Podstavec 17 kg s klínem	102010	42 (ks)	256.60	10 777
Izolační tyč pro izolované podpěry 3000 mm	253310	50 (ks)	497.70	24 895
Držák vedení vodiče 8 mm	253302	150 (ks)	27.70	4 155
Betonová zátěž 4.6 kg	253301	150 (ks)	117.90	17 685
Montážní základna 300 mm	253300	150 (ks)	68.50	10 275
Vodič HVI light	819125	320 (m)	620.80	198 656
Připojovací prvek k vodiči HVI light	819299	36 (ks)	554.90	19 976
Podpěra vedení HVI light	275220	180 (ks)	46.80	8 424
Suma				597 600 Kč

3.4. Návrh vnitřní ochrany před bleskem

Vnitřní ochrana před bleskem představuje opatření chránící elektrické a elektronické systémy uvnitř objektu, což je v případě budovy s nějakým stupněm nebezpečí výbuchu velmi kritická část, a představuje kromě rizika nemalých ekonomických ztrát také vysoké riziko pro zdraví a životy přítomných osob. Vnitřní ochrana bude v našem případě sestávat z ekvipotenciálního pospojování a svodičů bleskového proudu a přepětí (SPD).

3.4.1. Ekvipotenciální pospojování

Tento projekt představuje řešení s oddáleným hromosvodem. Vnější ochrana před bleskem je navržena tak, aby byl vyloučen jakýkoli přeskok bleskového proudu z jímací soustavy na jinou kovovou část budovy. Proto bude v tomto případě ekvipotenciální pospojování sestávat pouze z vnitřního pospojování vodivých částí technologie a zařízení. Nesmí být galvanicky propojeny vnější částí ochrany před bleskem (jímací soustavy) s ostatními kovovými částmi budovy, jako je tomu v případě neizolovaného hromosvodu. Respektive u navržené ochrany před bleskem pro tento projekt bude vnější část LPS spojena s vodivými částmi stavby až na úrovni terénu, tzn. přes ekvipotenciální přípojnici galvanicky spojenou s uzemněním stavby.

Minimální rozměry vodičů pro ekvipotenciální pospojování nezávisí podle normy ČSN EN 62305-3 ed. 2 na třídě LPL. Podle též normy bude hlavní přípojnice ekvipotenciálního pospojování umístěna co nejbližší hlavnímu rozváděči, v blízkosti země prvního podlaží budovy a bude připojena k uzemňovací soustavě ocelovým vodičem (nerez V4A) průřezu 50 mm². Ostatní pomocné přípojnice budou spojeny s hlavní přípojnící izolovaným měděným vodičem průřezu 16 mm². Vnitřní kovové instalace budou s jednotlivými přípojnici spojeny s izolovaným měděným vodičem průřezu 10 mm². Ekvipotenciální pospojování bude provedeno co nejkratším a nejpřímějším způsobem, aby nedocházelo k nežádoucím úbytkům napětí na indukčnostech těchto obvodů.

Na jednotlivé přípojnice ekvipotenciálního pospojování budou připojeny kovové vodovodní, parovodní, plynové, odpadní a technologické potrubí. Všechny kovové kryty technologie (čerpadla, reaktory, destilační, rektifikační a absorpční kolony, filtrační zařízení, míchadla, atd.), vnitřní kovové konstrukce objektu, instalace z kovu, SPD svodiče, stínění telekomunikačních a datových kabelů. A hlavně vodič PE (Protection Earth - ochranný vodič) celé stavby, který tímto s ekvipotenciální přípojnici spojuje veškeré elektrické přístroje použité v budově. Pro napojení potrubí je použito jednak standardních uzemňovacích objímek na potrubí (se stahovací páskou pro univerzální použití na jakýkoli průměr potrubí) a jednak, pro prostory s nebezpečím výbuchu, speciální svorky do exového prostředí, které zajišťují jiskrově bezpečné potenciálové vyrovnání. Přednost má samozřejmě galvanická vazba, ale pro potrubí chráněná proti korozi katodickou ochranou bude pro propojení s ekvipotenciální přípojnící použito navíc zapouzdržené oddělovací jiskřiště určené k propojení a překlenutí izolovaných částí zařízení, které nelze mít trvale elektricky propojené, např. oddělovací jiskřiště EXFS 100 firmy DEHN určené do pro Ex zóny 1 a 21. V exovém prostředí je navíc velmi

důležité spojení antistatické (elektrostaticky vodivé) podlahy s ekvipotenciální přípojnici. Pro přečerpávání kapalin z mobilních cisteren s použitím flexibilních potrubí bude používáno nerezových uzemňovacích kleští s mosaznými čelistmi a hroty s měděnými kontakty.

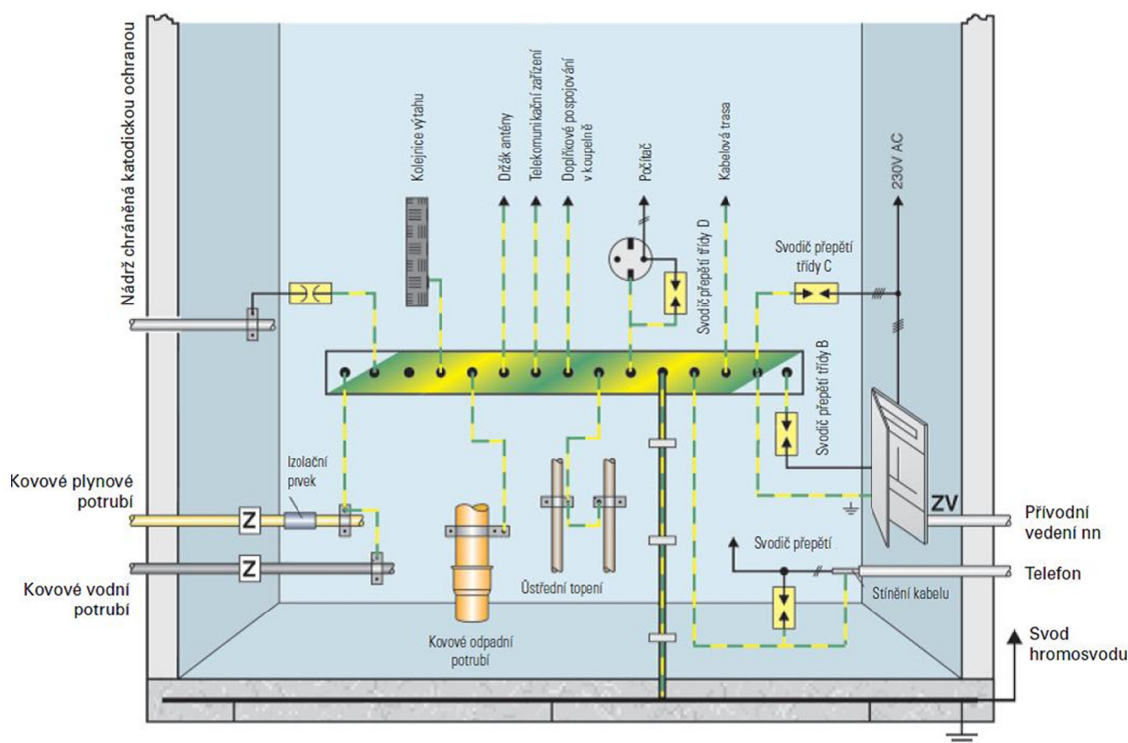
Provedené vyrovnání potenciálů neboli ochranné pospojování nechrání jen před bleskem a přepětím, ale samozřejmě slouží také jako ochrana před nebezpečným dotykem. Proto by tato investice neměla být vnímána jen jako ochrana před bleskem, ale jako celková investice do bezpečnosti práce podle požadavků souboru norem ČSN EN 60079 na instalace v nebezpečných prostorech. Navíc ve výbušném prostředí, vyskytující se v určitých objektech této chráněné stavby, se jedná o ochranu před statickou elektřinou, která může být v těchto případech častou inicializací výbuchu. Ve všech prostředích s nebezpečím výbuchu této stavby je instalována antistatická podlaha Atemit trvale připojena k zemnicí síti. Navíc je v prostorech s nebezpečím výbuchu používáno antistatické obuvi a oděvů, ale to již není součástí tohoto projektu.

V případě pospojování je nutno respektovat normu ČSN EN 62305-4 a ve výbušném prostředí bude navíc přihlédnuto k normě ČSN EN 60079-14. Systém pospojování bude zahrnovat ochranné vodiče, kovová potrubní vedení, kovové pláště kabelu, kovový drátový pancíř a kovové části staveb, avšak nesmí zahrnovat střední vodiče. Připojení bude zajištěno proti samovolnému a musí minimalizovat nebezpečí koroze, která může snižovat účinnost spojení.

Pospojování všech kovových konstrukcí po obvodu stěn (což je v případě potrubí technologie velmi často) navíc vytváří Faradayovu klec, které tlumí intenzitu elektromagnetického pole doprovázejícího úder blesku (LEMP), takže zlepšuje ochranu uvnitř budovy. Taktéž působí vnější síť vodorovných svodů nad střechou budovy v kombinaci se soustavou svislých svodů.

Jelikož konkrétní rozmístění technologie ještě není úplně přesně definováno a projekt elektrické instalace bude dle tohoto teprve vypracován, není součástí tohoto návrhu detailní rozmístění jednotlivých ekvipotenciálních přípojníc a napojení kovových součástí technologie a budovy na ně. Toto bude provedeno až po vypracování detailního projektu elektro instalace. Použité svorky, přípojnice a vodiče ekvipotenciálního pospojování budou konkrétně definovány v další kapitole, ale jejich množství (vzhledem k informaci výše) bude jen orientační, pro přibližnou kalkulaci nákladů.

Obecné schéma připojení technologie a vodičů na ekvipotenciální přípojnici je na - Obrázek 34.

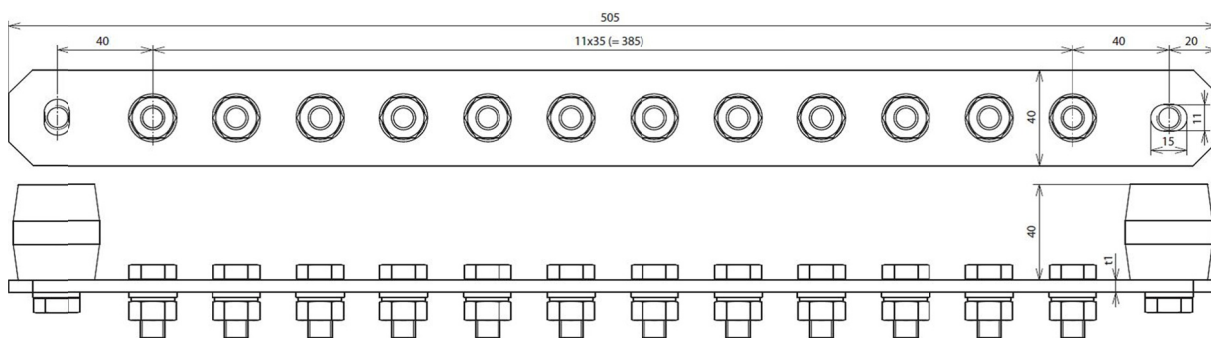


Obrázek 34 - obecné schéma připojení technologie a vodičů na ekvipotenciální přípojnici [20]

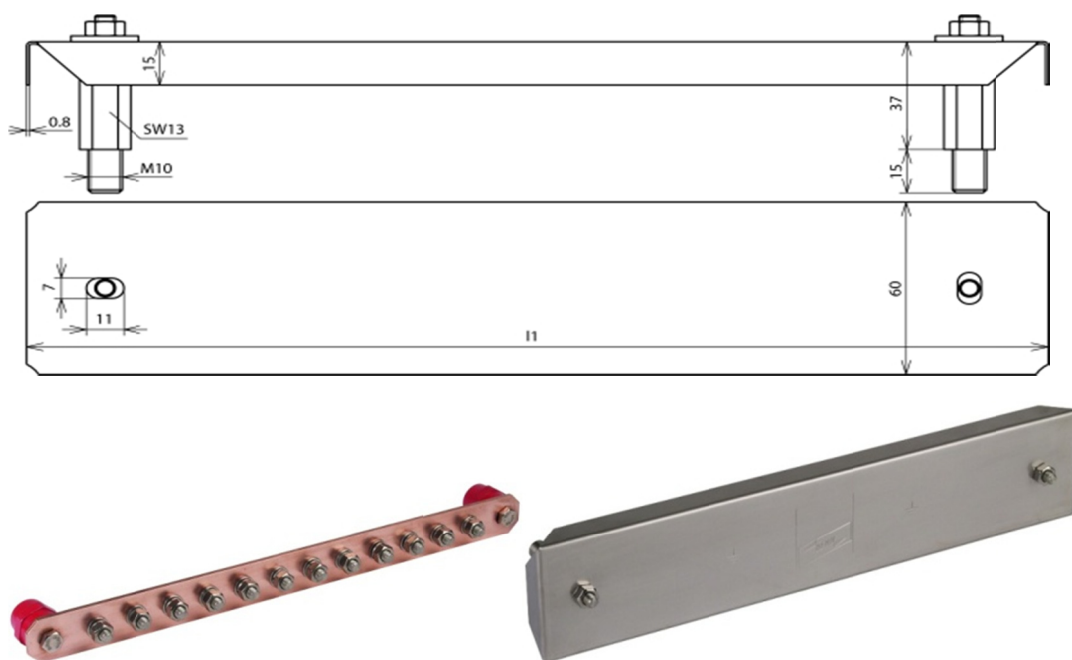
3.4.2. Popis a soupis materiálu pro ekvipotenciální pospojování

Jak již bylo řečeno výše, množství materiálu tohoto výpisu je jen orientační, pro přibližnou kalkulaci nákladů. Materiál pro tuto část ochrany před bleskem, vyjma běžných izolovaných měděných vodičů, je od firmy Dehn.

Jako ekvipotenciální přípojnice byly vybrány průmyslové Industrie pro 12 připojení s izolátory a krytem. Hmotnost přípojnice 1.59 kg, hmotnost krytu 403 g. Rozměry viz Obrázek 35 a Obrázek 36.



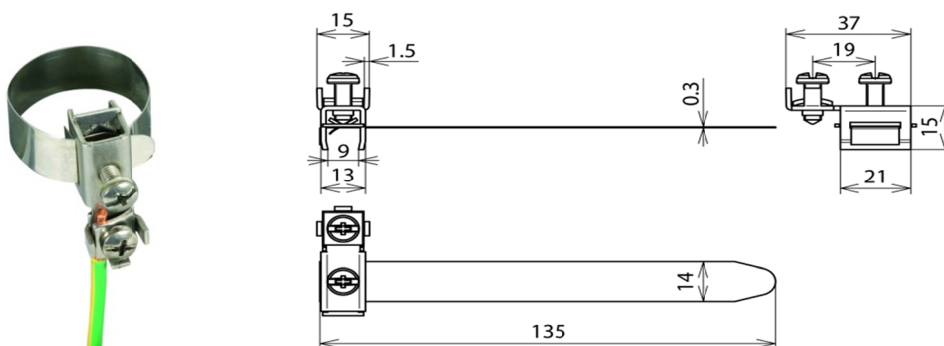
Obrázek 35 - ekvipotenciální přípojnice Industrie [17]



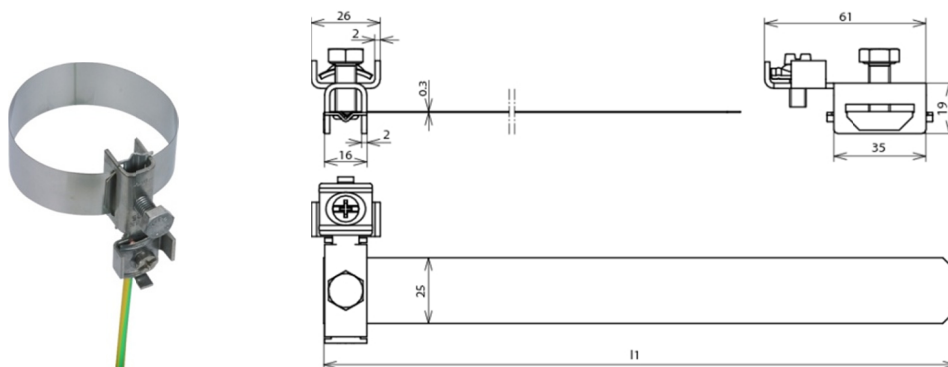
Obrázek 36 - kryt na ekvipotenciální přípojnicí Industrie [17]

Pro spojení čtyř hlavních ekvipotenciálních přípojníc se základovým zemničem je použit nerezový drát o průměru 8 mm. Pro propojení přípojníc mezi sebou izolovaný měděný vodič CY16 průřezu 16 mm² a pro spojení zařízení s přípojnící měděný vodič CY10 průřezu 10 mm².

Pro připojení potrubí v normálním prostředí je použito nerezových uzemňovacích objímek Standard. Pro potrubí průměru 10 - 27 mm pro průřez připojovacího vodiče 2.5 - 10 mm², s hmotností 29 g a pro potrubí průměru 27 - 168 mm pro průřez připojovacího vodiče 4 - 25 mm², s hmotností 94 g. Rozměry obou na: Obrázek 37, Obrázek 38.

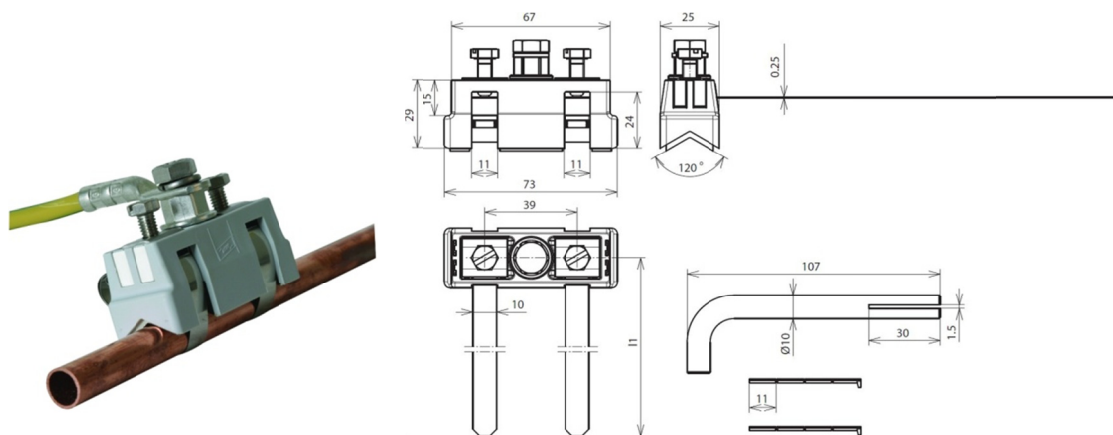


Obrázek 37 - Uzemňovací objímky 10-27 mm [17]

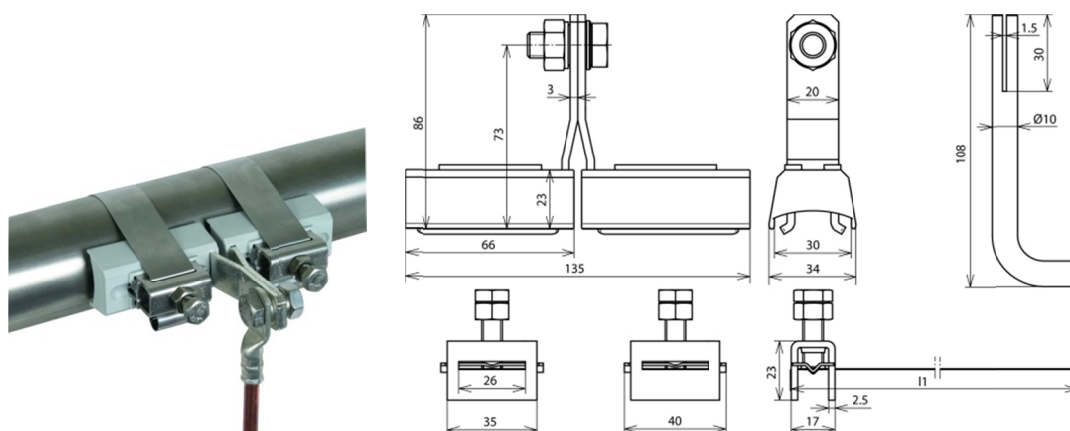


Obrázek 38 - Uzemňovací objímky 27-168 mm [17]

Pro připojení potrubí v exovém prostředí je použito nerezových uzemňovacích svorek typu BRS, s upínací hlavou se dvěma páskami a přitlačnými šrouby s hroty, zajišťující propojení potrubí. Budou použity tři velikosti: pro potrubí průměru 6 - 27 mm s hmotností 249 g, pro potrubí průměru 27 - 89 mm s hmotností 503 g a pro potrubí průměru 89 - 300 mm s hmotností 566 g. Rozměry viz Obrázek 39 a Obrázek 40:

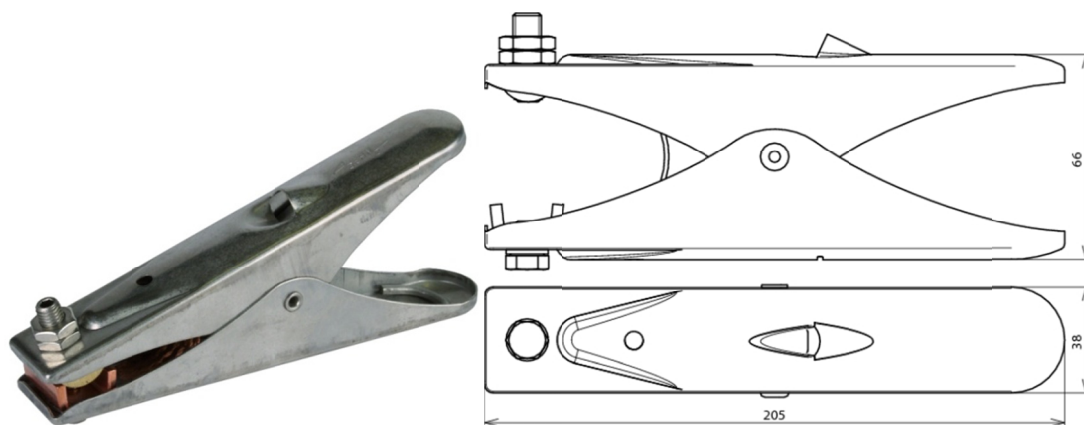


Obrázek 39 - Uzemňovací objímky 6-27 mm do zóny Ex [17]



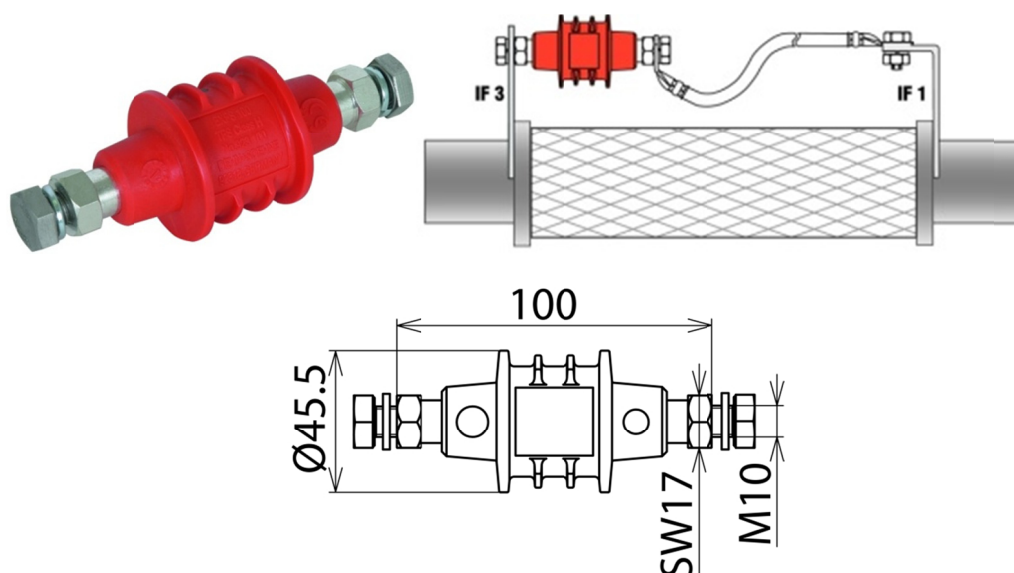
Obrázek 40 - Uzemňovací objímky 27-89 a 89-300 mm do zóny Ex [17]

Pro ekvipotenciální připojení při přečerpávání kapalin z mobilních cisteren nebo sudů bude používáno uzemňovacích nerezových kleští s mosaznými čelistmi s hroty a měděnými kontakty. S rozměry na - Obrázek 41:



Obrázek 41 - Uzemňovací nerezové kleště [17]

Potrubí chráněná proti korozi katodickou ochranou bude pro propojení s ekvipotenciální přípojnici použito navíc zapouzdřené oddělovací jiskřiště EXSF 100. Jedná se o oddělovací jiskřiště uzavřené v plastovém pouzdru s nerezovými připojovacími svorníky se závitem M10 a rozměry viz Obrázek 42:



Obrázek 42 - Oddělovací jiskřiště EXFS 100 [18]

Tabulka 16 - Soupiska materiálu pro ekvipotenciální pospojování

Položka	kat. č.	množství (jednotka)	cena za jednotku [Kč]	cena celkem [Kč]
PA-(ekvipotenciální) přípojnice bez krytu, nerez	472239	20 (ks)	1 330.80	26 616
Kryt pro PA-(ekvipotenciální) přípojnice, nerez	472299	20 (ks)	446.50	8 930
Drát z korozi-vzdorné oceli V4A, 8 mm	860008	20 (m)	253.20	5 064
Vodič CY 16 zelenožlutý	-	500 (m)	42.00	21 000
Vodič CY 10 zelenožlutý	-	3000 (m)	28.00	84 000
Uzemňovací svorka na potrubí, nerez, D 1/8 - 3/8"	540920	50 (ks)	84.10	4 205
Uzemňovací svorka na potrubí, nerez, D 26,9-165mm	540912	50 (ks)	114.40	5 720
Páska na potrubí pro Ex-prostředí, D 6-27mm	540821	50 (ks)	1 456.60	72 830
Páska na potrubí pro Ex-prostředí, 3/4"-3"	540801	50 (ks)	1 261.50	63 075
Páska na potrubí pro Ex-prostředí, D 90-300mm	540803	50 (ks)	1 362.10	68 105
Uzemňovací kleště L 205mm nerez	546001	10 (ks)	1 067.30	10 673
Oddělovací jiskřiště EXFS 100	923100	10 (ks)	4074.90	40 749
Suma				410 967 Kč

3.4.3. Přepětové ochrany v silových rozvodech

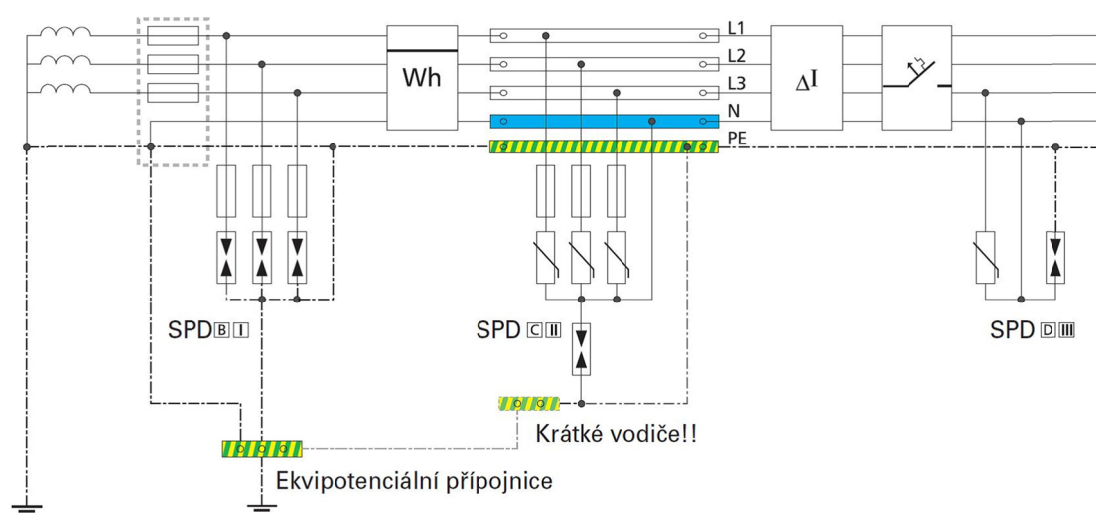
V silových rozvodech, kde logicky není možno mezi sebou přímo galvanicky propojit fázové a pracovní vodiče s ekvipotenciální přípojnici je nutno pro přechodné spojení těchto vodičů, v případě úderu blesku do stavby nebo blízkosti stavby, použít pro rovnoměrné rozložení bleskového proudu mezi všechny vodiče tzv. SPD - Surge Protection Device.

Základními parametry pro výběr SPD jsou:

- Maximální proud impulzu - přípustná vrcholová hodnota sváděného impulzního proudu při definovaném tvaru proudového impulzu 10/350 μ s, I_{imp} . Tento proud je zařízení schopno opakovaně svést bez podstatných změn svých vlastností.
- Jmenovitý výbojový proud - též jmenovitý svodový proud I_n . Vrcholová hodnota proudu zkušebnímu impulzu 8/20 μ s, kterou je zařízení schopno vydržet opakovaně a v relativně rychlém sledu bez podstatných změn svých vlastností.
- Maximální výbojový proud - též maximální svodový proud I_{max} . Udává vrcholovou hodnotu proudu jednotlivého zkušebnímu impulzu 8/20 μ s, kterou musí zařízení vydržet jednotlivě bez podstatných změn svých vlastností.

- Ochranná úroveň - též napěťová ochranná hladina U_p . Maximální hodnota svorkového napětí SPD, které odpovídá aktivaci impulsem předepsaného průběhu.
- Doba odezvy t_A - zpožděná reakce způsobená omezenou rychlostí skutečného ochranného zařízení.
- Přípustné předjištění - musí být dodržen maximální přípustný proud použitého jisticího prvku, jakož i odpovídající časová charakteristika. Zpravidla je vyžadováno použití pojistek s charakteristikou gL nebo gG.

V tomto projektu bude na silovém vedení umístěna třístupňová koordinovaná ochrana. Samotná přepětíová ochrana typu 1 sice svede většinu bleskového proudu spolehlivě do země, jenže i tak vlna přepětí, která zůstane za svodičem, může snadno zničit spotřebiče v další části instalace, především z toho důvodu, že zareaguje s časovým zpožděním. Stejně tak samotný svodič typu 3 je bezmocný proti atmosférickému přepětí, které je dost velké na to, aby tento svodič zničilo. Mezi parametry svodičů typu 1 a 3 je velký rozdíl a proto se mezi ně vkládá ještě stupeň 2. Vytvoří se tak kaskáda, která splňuje všechny požadavky. Samotné rozmístění vhodných typů svodičů do kaskády neznamena, že budou pracovat správně, protože při velkém přepětíovém impulsu, nejprve zareaguje nejrychlejší prvek, což je svodič SPD 3. Ten sice omezí přepětí, jenže právě kvůli tomu nezareaguje hrubá přepětíová ochrana, protože napětí na mezi elektrodami jiskřiště bude menší, než je zápalné napětí jiskřiště. Energetická hodnota impulsu může být ale tak velká, že se SPD 3 zničí. Z tohoto důvodu je třeba provést správnou koordinaci přepětíových prvků. V našem případě se jedná o zapojení kaskády v síti TN-C-S, viz Obrázek 43.



TN-S

Obrázek 43 - schéma zapojení koordinované ochrany SPD v síti TN-C-S [19]

Pro správnou funkci přepětových ochran v sítích nn je nezbytné dodržet hodnoty omezovacích impedancí, toho lze dosáhnout dodržením výrobcem stanovené minimální délky vedení mezi jednotlivými stupni přepětových ochran, neboť žádný svodič nesmí být během svádění přetížen. Mezi SPD typ 1 a SPD typ 2 musí být délka alespoň 15 m. Pokud vzdálenost nejde dodržet, musí se do vedení vsadit tlumivka, která slouží jako náhrada impedance vedení a úbytku na něm. Minimální délka vedení mezi SPD typ 2 a SPD typ 3 je 5 m. Vzdálenost spotřebiče od SPD typ 3 nesmí překročit 5 m. Čím blíže je ochrana ke spotřebiči, tím lepší ochrana je zajištěna.

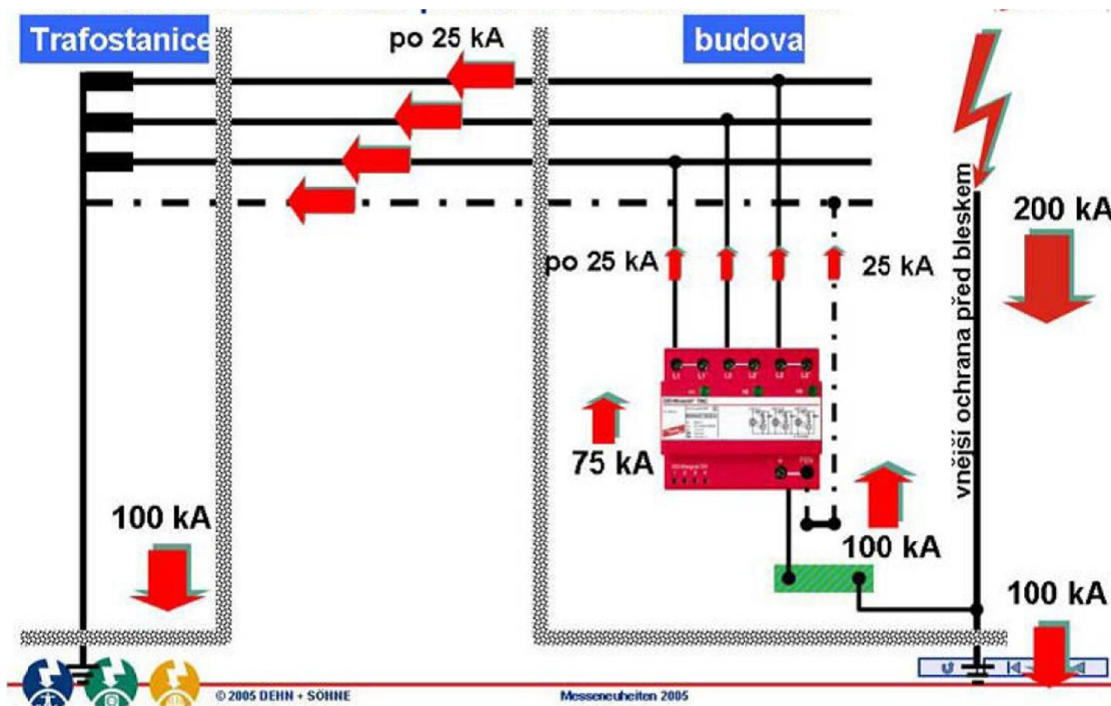
V případě poruchy přepětové ochrany, která má za následek zkrat, je nutno tuto bezpečně odpojit. Pokud jistící prvek na přívodu má menší hodnotu než hodnota předjištění přepětové ochrany, pak předjištění není nutné. V případě, že se jištění použije, musí se volit tak, aby zkrat v obvodu přepětové ochrany nezničil samotnou ochranu nebo při přepětí nevybavil jistící prvek průchodem svodového proudu a tím odpojí ochranu. Před SPD 1 nesmí být zařazen žádný chránič. Proudový chránič před SPD 2 musí být selektivní. Při zapojení varistorového SPD 4+0 za proudovým chráničem může docházet k jeho vypínání, tento nedostatek vyřeší zapojení 3+1.

Projekt bude vypracován pro dvě varianty podle výpočtů rizika v kapitole 3.2.:

- A) přírodní nestíněné silové vedení v délce 200 metrů bude nahrazeno stíněným vedením
- B) budou použity SPD s lepšími ochrannými charakteristikami, než uvádí LPL1

3.4.3.1. Návrh SPD 1 a SPD 2

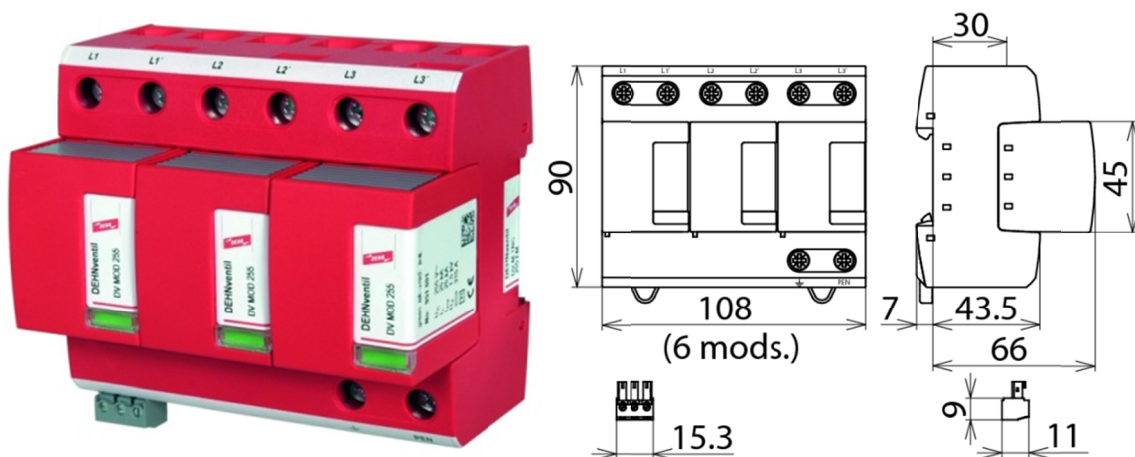
V prvním stupni se jedná o hrubou ochranu elektroinstalace proti působení atmosférického přepětí. Při přímém úderu do objektu nebo při úderu do venkovního vedení. Při úderu do vedení je již bleskové vlna částečně utlumena. Nejkritičtější tedy bude přímý úder do stavby, respektive do její vnější ochrany před bleskem. Důležitým hlediskem pro dimenzování SPD je v tomto případě dělení bleskového proudu. Přes uzemňovací systém projde přímo do země asi 50 % celkového bleskového proudu, zbývajících 50 % proudu se poté rozdělí rovnoměrně na všechny vodivé přívody chráněného objektu, viz Obrázek 44.



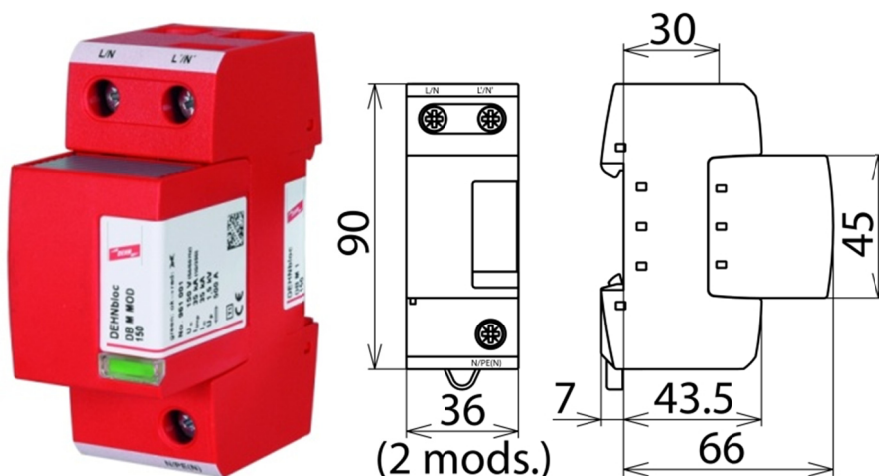
Obrázek 44 - rozdělení bleskového proudu při úderu do stavby s vnější ochranou [24]

Pro variantu A (LPL I) to tedy představuje asi 1/8 z proudu 200 kA, tj. 25 kA. Jako SPD 1 + SPD 2 byl vybrán kombinovaný svodič bleskových proudů pro síť TN-C DEHNventil DV M TNC 255. Jedná o vícepólový kombinovaný svodič na bázi jiskřiště. Tento kombinovaný svodič je schopen chránit i koncová zařízení, do vzdálenosti 5 metrů, na větší vzdálenost musí být pak umístěno SPD 3. Funkční stav nebo porucha jsou signalizovány v signalizačním poli. Snadná výměna přetížených modulů pomocí aretovacího tlačítka. Jeden modul má maximální přípustnou vrcholovou hodnotu sváděného impulzního proudu rovnu 25 kA. Ochranná napěťová úroveň je 1.5 kV, doba odezvy 100 ns a předjištění pojistkou 315 A charakteristiky gG při paralelně zapojení do T. Instaluje se na rozhraních LPZ 0_A - 2. Viz Obrázek 45.

Pro variantu B (lepší ochranné charakteristiky $P_{SPD} = 0.002$, což odpovídá vrcholovému proudu 400 kA) je to 1/8 ze 400 kA, tj. 50 kA. Jako SPD 1 byl vybrán 3 krát svodič bleskových proudů DEHNBloc DB M 1 255. Jedná se o jednopólový, energeticky zkoordinovaný svodič bleskových proudů. Selektivní jiskřiště s funkcí vlnolamu účinně zhasí následné síťové proudy. Zdvojené připojovací svorky umožňují připojit svodič bleskových proudů v zapojení V. Funkční stav nebo porucha jsou signalizovány v signalizačním poli. Snadná výměna přetížených modulů pomocí aretovacího tlačítka. Jeden modul má maximální přípustnou vrcholovou hodnotu sváděného impulzního proudu rovnu 50 kA. Ochranná napěťová úroveň je 2.5 kV, doba odezvy 100 ns a předjištění pojistkou 315 A charakteristiky gG při paralelně zapojení do T. Instaluje se na rozhraních LPZ 0_A - 1. Viz Obrázek 46.

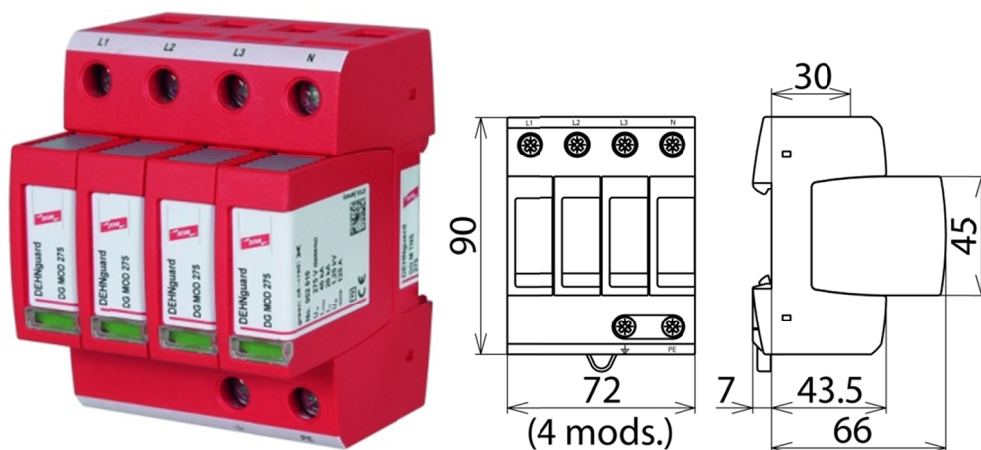


Obrázek 45 - SPD kombinovaný typ 1 + typ 2- DEHNventil M TNC 255 [18]



Obrázek 46 - SPD typ 1 - DEHNbloc M 1 255 [18]

Následně jako SPD 2 vybrán DEHNguard DG M TNS 275, podle katalogu DENH plně zkoordinovaný k výše uvedenému SPD 1. Ochranné moduly jsou osazeny výkonnými varistory ZnO. Vysoký stupeň bezpečnosti je zajištěn odpojovacím zařízením s dvojitou kontrolou. Funkční stav nebo porucha jsou signalizovány v signalizačním poli. Snadná výměna přetížených modulů pomocí aretovacího tlačítka. Ochranná napěťová úroveň je 1.5 kV, doba odezvy 25 ns a předjištění pojistkou 125 A charakteristiky gG. Jmenovitý výbojový proud 20 kA a maximální výbojový proud 40 kA. Viz Obrázek 47.

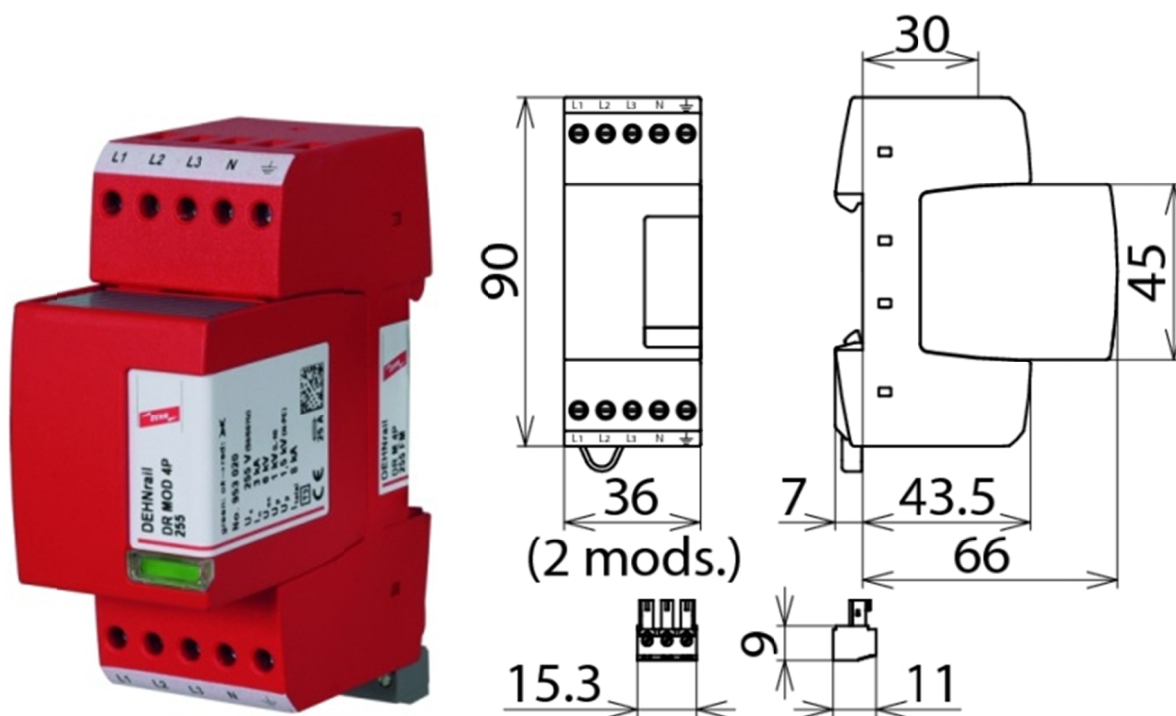


Obrázek 47 - SPD typ 2 - DEHNgaurd M TNS 275 [18]

3.4.3.2. Návrh SPD 3

SPD 3 je poslední stupeň ochrany citlivých spotřebičů před atmosférickým přepětím a přepětím způsobeným spínacími procesy. Byl vybrán čtyřpólový modulární DEHNrail. Jedná se o dvoudílnou konstrukci tvořenou základním dílem a ochranným modulem, jehož základním prvkem je kombinace výkonných varistorů a jiskřišť s velkou schopností odvést impulzní proud. DEHNrail je energeticky zkoordinován s výše uvedenými SPD 1 a SPD 2. Stav ochrany je signalizován v signalizačním poli. Ochranná napěťová úroveň je 1000 V, doba odezvy 25 ns, a předjištění pojistkou 25 A charakteristiky gG. Maximální impulzní proud 3 kA. Viz Obrázek 48.

Pokud je chráněné zařízení v dosahu 5 metrů od SPD 2, je chráněno přímo jím (ochranná napěťová úroveň 1.5 kV), pokud je dále, je potřeba použít SPD 3, které musí být rovněž umístěno ve vzdálenosti maximálně 5 metrů od chráněného zařízení. V normálních prostorech to není problém. Ale protože jsem nenašel SPD 3 pro jmenovité napětí 230/400 V s ATEX, tak u prostor s nebezpečím výbuchu musí být SPD umístěno mimo tuto zónu. Pokud to z důvodu umístění zařízení není možné, použijí se pro SPD 3 instalační krabice se závěrem s vnitřním přetlakem „p“ nebo alespoň s pevným závěrem „d“.



Obrázek 48 - SPD typ 3 - DEHNrail DR M 4P 255 [18]

3.4.4. Přepět'ové ochrany v datových a telekomunikačních rozvodech

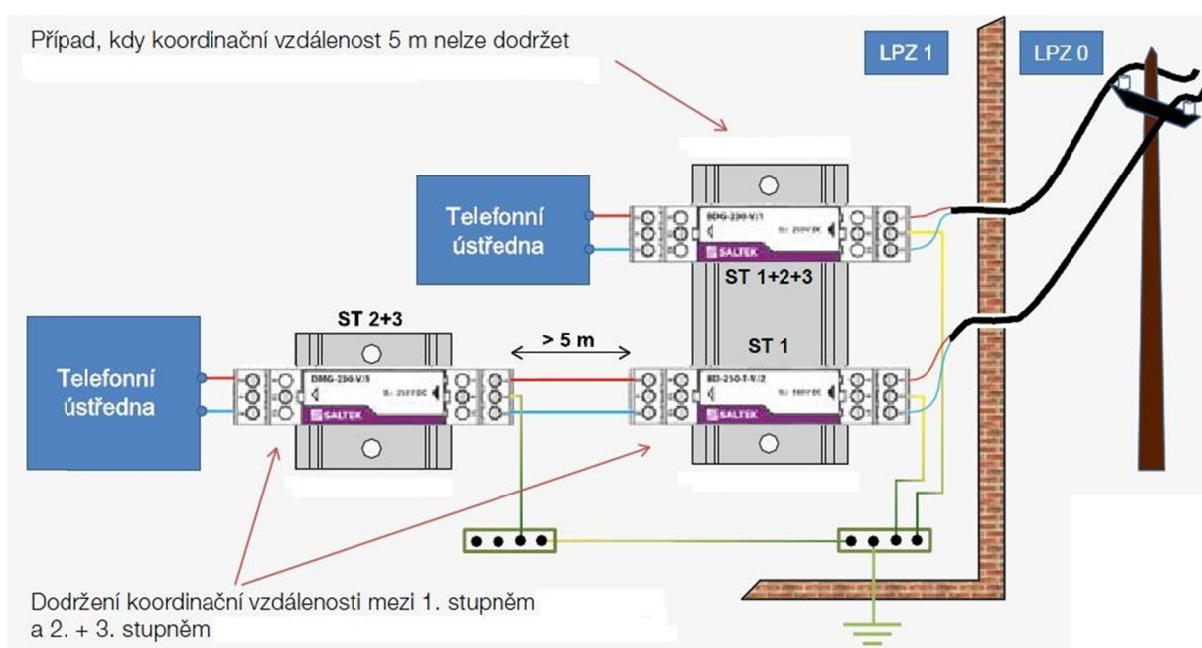
I v případě slaboproudých rozvodů je základní zásadou při ochraně před přepětím komplexnost a koordinace ochrany. Požadavek komplexnosti lze splnit instalací přepět'ových ochrany na všechny vstupy i výstupy daného zařízení, tzn. je třeba chránit napájecí vedení i komunikační rozhraní. Koordinaci zajistíme instalací ochrany s různým ochranným účinkem za sebou na vedení.

Při montáži všech přepět'ových ochrany je třeba důsledně dbát na vyloučení vazby mezi vstupním (nechráněným) vedením a výstupním (chráněným) vedením a zemí. Další důležitou věcí, kterou je nutno brát na vědomí, je fakt, že většina slaboproudých ochrany je vícestupňová. Tím pádem jsou tyto ochrany směrové a je třeba dbát na jejich správné zapojení. Typické zapojení chránění telekomunikačního nebo datového vedení je na - Obrázek 49.

Při výběru správného typu ochrany pro slaboproudé signály je třeba kromě parametrů bleskového proudu znát detailní údaje o chráněném signálu:

- Maximální proud impulsu - přípustná vrcholová hodnota sváděného impulzního proudu při definovaném tvaru proudového impulsu 10/350 μ s, I_{imp} . Tento proud je zařízení schopno opakovaně svést bez podstatných změn svých vlastností.

- Jmenovitý výbojový proud - též jmenovitý svodový proud I_n . Vrcholová hodnota proudu zkušebního impulzu 8/20 μ s, kterou je zařízení schopno vydržet opakovaně a v relativně rychlém sledu bez podstatných změn svých vlastností.
- Ochranná úroveň - též napěťová ochranná hladina U_p . Maximální hodnota svorkového napětí SPD, které odpovídá aktivaci impulsem předepsaného průběhu.
- Maximální napětí signálu (AC nebo DC) U_C
- Jmenovitý proud signálu I_L
- Šířka přenášeného kmitočtového pásma - tvar a mezní frekvence signálu f_G



Obrázek 49 - schéma zapojení koordinované ochrany SPD v telekomunikační a datové síti [21]

Pro náš případ vstupuje do objektu ADSL linka, použitá jak pro telefonní, tak pro datový přenos. Stejně jako v silových sítích nn, tak ve slaboproudých dochází k dělení bleskového proudu mezi jednotlivé vodiče. Z důvodu podstatně větší impedance slaboproudých vedení se však uvažují menší výchozí hodnoty bleskového proudu, než u nn. Z této příznivé skutečnosti vychází, že na veškerá slaboproudá vedení vstupující a vycházející z uvažovaného chráněného prostoru připadá úhrnně jen 5 % celkového bleskového proudu, který je uveden pro příslušnou ochrannou třídu LPL. Z toho plyne, že jak pro třídu LPL I (odpovídající maximální hodnotě bleskového proudu 200 kA), tak pro přísnější variantu s $P_{SPD} = 0.005$ (odpovídající proudu 300 kA), vystačíme bez problému se svodičem bleskového proudu 10 kA. K podobným výsledkům se dostaneme použitím tabulky E.3 normy ČSN EN 62305-1 ed. 2, která vyčísľuje proudy rázových vln nadproudu, způsobených úderem blesků u telekomunikačních vedení. Byla vybrána dvojice SPD řady Blitzductor, která podle katalogu

DEHN zajišťuje koordinovanou ochranu ADSL - TYPE1 představuje svodič bleskových proudů a TYPE2 svodič přepětí.

Jako TYPE1 je použit kombinovaný prostorově úsporný čtyřpólový svodič bleskových proudů Blitzductor XT ML4 BD 180. Modul má maximální proud impulsu 10 kA, jmenovitý výbojový proud 20 kA a ochrannou napěťovou úroveň je 270 V. Je určen pro signál a maximálním napětím 180 V, se jmenovitým proudem 0.75 A a mezní frekvencí 25 MHz.

Jako TYPE2 je použit čtyřpólový svodič přepětí Blitzductor SP M4 BD 180. Modul má maximální proud impulsu 1 kA, jmenovitý výbojový proud 20 kA a ochrannou napěťovou úroveň je 270 V. Je určen pro signál a maximálním napětím 180 V, se jmenovitým proudem 0.75 A a mezní frekvencí 25 MHz.

Oba typy jsou výměnné moduly stejných rozměrů, které se uchycují do čtyřpólové průchozí svorky BXT BAS. Tato umožňuje výměnu ochranného modulu bez přerušení signálu při jeho vysunutí. Rozměry obou viz



Obrázek 50 - SPD pro ADSL řady Blitzductor [18]

3.4.5. Popis instalace a materiálu pro SPD

Jelikož konkrétní rozmístění technologie ještě není úplně přesně definováno a projekt elektrické instalace bude dle tohoto teprve vypracován, není součástí tohoto návrhu detailní rozmístění jednotlivých přepětových ochran. Toto bude provedeno až po vypracování detailního projektu elektroinstalace. Počty použitých SPD 1, SPD 2 a datových SPD by měly již odpovídat reálu, jen množství použitých SPD 3 se může ještě mírně lišit. Nicméně, pro přibližnou kalkulaci nákladů na instalaci přepětových ochran by přesnost rozpisu měla být postačující, viz Tabulka 17.

Tři moduly svodiče bleskových proudů DEHNbloc (respektive kombinovaný svodič přepětí DEHNventil ve variantě A) budou umístěny v hlavním rozváděči v přízemí budovy, hned vedle ekvipotenciální přípojnice. Předřazené jištění SPD 1 je 315 A, pokud již není v síti nainstalováno stejné nebo menší jištění. Také je nutno dodržet, aby vzdálenost mezi SPD 1 a fázovým vodičem byla

maximálně 0.5 metru a vzdálenost mezi SPD 1 a ekvipotenciální přípojnici by měla být také maximálně 0.5 metru. V tomto rozváděči bude umístěn také kombinovaný svodič přepětí pro ADSL BLITZDUCTOR XT.

Na každém patře jsou dva podružné rozváděče. Tím, že je použit buď kombinovaný svodič přepětí nebo zkoordinované svodiče DEHNbloc a DEHNguard, není potřeba dodržet vzdálenost 15 metrů hlavního od podřadného rozváděče. V každém z podružných rozváděčů je umístěn jeden svodič přepětí DEHNguard (platí jen pro variantu B). Předřazené jištění SPD 2 je 125 A, pokud již není v síti nainstalováno stejné nebo menší jištění. V těchto rozváděčích bude umístěno také po jednom svodiči přepětí pro ADSL BLITZDUCTOR SP.

Svodiče přepětí SPD 3 DEHNrail jsou umístěny v maximální vzdálenosti 5 metrů od chráněného spotřebiče, pokud možno v normální zóně (bez nebezpečí výbuchu). Když to z prostorového hlediska není možné, musí být SPD 3 umístěno v ATEX krabici pro zónu 1 a 2. [6]

Schéma zapojení SPD je v příloze.

Tabulka 17 - Soupiska materiálu pro SPD ochranu

Položka	kat. č.	množství (jednotka)	cena za jednotku [Kč]	cena celkem [Kč]
Kombinovaný svodič přepětí DEHNventil DV M TNC 255	951300	1 (ks)	13 637.90	13 638
Svodič bleskových proudů DEHNbloc DB M 1 255	961120	3 (ks)	3 953.50	11 861
Svodič přepětí DEHNguard DG M TNS 275	952400	4 (ks)	4 078.40	16 314
Svodič přepětí DEHNrail DR M 4P 255	953400	20 (ks)	2 817.80	56 356
Základní díl pro BLITZDUCTOR XT	920300	5 (ks)	605.20	3 026
Kombinovaný svodič přepětí - modul BLITZDUCTOR XT	920347	1 (ks)	2 939.10	2 940
Svodič přepětí - modul BLITZDUCTOR SP	926347	4 (ks)	1 912.60	7 651
Rozdíl mezi stíněným NYCWY 4x95 a nestíněným CYKY 3x95+70	-	200 (m)	223.00	44 600
Suma pro variantu A				128 211 Kč
Suma pro variantu B				98 148 Kč

4. Závěr

V této práci je popisován návrh na ochranu před bleskem pro budovu s prostory s výbušnou atmosférou par těkavých rozpouštědel, konkrétně se zónami 1 a 2. Jedná se o stavbu nové budovy, do níž se má následně přestěhovat technologie ze zastaralé a již dosluhující části výrobního závodu. Současně s výrobou, která bude umístěna v přízemí, budou v prvním patře umístěny moderní laboratoře. Součástí budovy je také kancelářská část a sociální zázemí.

Návrh této práce vychází z již vypracovaného protokolu o vnějších vlivech, s určením zón prostor s nebezpečím výbuchu. Z tohoto a dalších údajů o budově a jejich inženýrských sítí byla vypracována analýza rizik. Podle očekávání se tato budova dostala do třídy I ochrany před bleskem (LPL I). Podle jedné varianty musely být dokonce pro dosažení odpovídajícího rizika voleny koordinované SPD, které splňují ještě přísnější podmínky, než je LPL I.

Podle výsledků přípustného rizika R1 byly navrženy dvě varianty:

- Varianta A - jak pro vnější, tak pro vnitřní ochranu byla zvolena nejpřísnější úroveň LPL I a navíc muselo být navrženo použití stíněného vodiče 200 metrů dlouhého přívodního silového vedení (z firemní trafostanice 22/0.4 kV).
- Varianta B - pro vnější ochranu byla zvolena LPL I, ale aby mohlo být použito stávající silové vedení, musely být vybrány SPD s lepšími charakteristikami, než uvádí LPL I (pro LPL I je vrcholová hodnota proudu bleskového výboje 200 kA a minimální 3 kA, což statisticky pokrývá 99 % všech, pak $P_{SPD} = 0.01$). Pro další snížení rizika pod přijatelnou mez, musely být v této variantě návrhu použity silové SPD zvládající maximální proud impulsu (10/350 μ s) 50 kA - odpovídá bleskovému výboji 400 kA a $P_{SPD} = 0.002$, a datové SPD pro proud 10 kA, což bez problémů vyhovuje $P_{SPD} = 0.005$

Po spočítání nákladů na provedení obou variant, byl u nich dodatečně proveden výpočet rizika R4 ekonomických ztrát. Přestože náklady na ochranu podle výpočtu rizika R1 překročily v obou případech 2 milióny korun, bylo vyhovující i riziko R4. A to z důvodu nemalé výše celkové ceny technologií a přístrojů umístěných v chráněné budově.

Následně byl proveden návrh vnější ochrany před bleskem, pro obě varianty totožný, protože pro obě varianty se počítá s nejvyšším LPL I. Systém jímačů byl rozvržen pomocí metody valící se (bleskové) koule. Tato metoda nejlépe popisuje postup vodivého kanálu blesku a celkem elegantně se s ní pracuje v nějakém 3D CADu. Pro oddálený bleskosvod prostoru s nebezpečím výbuchu byl navržen systém svodů vodiči HVI a zemnič typu B.

Návrh vnitřní ochrany před bleskem sestává z ekvipotenciálního pospojování a koordinované ochrany SPD pro silové i datové vedení. Zde se obě varianty mírně cenově lišily - zhruba o 20 tisíc Kč dražší varianta B s lepšími ochranami. Na druhou stranu variantu A ekonomicky znevýhodňuje rozdíl asi 45 tisíc Kč mezi klasickým přívodním vodičem 1-CYKY 3x95+70 a odpovídajícím stíněným vodičem NYCWY 4x95. Na druhou stranu jsou tyto částky zlomkem celkových nákladů vyčíslených na nějakých 2.2 miliónů Kč. Z tohoto důvodu a z důvodu uvedeného v odstavci níže, bych se přikláněl

ke kombinaci obou variant, to je použití stíněného přívodního vodiče i SPD s lepšími parametry. Hodnota rizika R1 v tomto případě vyjde asi $4 \cdot 10^{-6}$, což je 40 % přípustného rizika.

Na úplný závěr by bylo vhodné uvést, že přestože o atmosférických výbojích toho dnes víme několikrát více, než před padesáti lety, tak zdaleka nevíme vše. Dalo by se říci, že čím více toho o blescích zjišťujeme, tím se nám otvírají další neznámé. Není to exaktní věda s přesnými výsledky, a proto také celý výpočet rizik a návrh ochrany je jen jakýmsi přiblížením se k nejlepšímu řešení. Při navrhování ochrany před bleskem neexistuje jakási pomyslná čára, která by říkala, že zde je řešení špatné, a zde už je najednou dobré, jak to může z norem 62305 někdy působit. Jedná se jen o statistické přiblížení se optimálnímu systémovému řešení. Ale přes to vše, je to momentálně jediný správný způsob, jak alespoň nějak transparentně tuto problematiku řešit.

Seznam literatury

- [1] BURANT, Jiří *Blesk a přepětí*, 1. vyd. Praha: FCC Public 2006, 256 s., ISBN 80-86534-10-3
- [2] TKOTZ, K. *Příručka pro elektrotechnika*, přeložil Jiří Handlír, 2. vyd. (25. vyd. originálu) Verlag Europa 2014, str. 398-402, ISBN 978-3-8085-3034-4
- [3] SATINSKÝ, Alexandr, KUTÁČ Jiří *Ochrana před bleskem a přepětím*, 1. vyd. Praha: IRIS 2006, 280 s., ISBN 80-903540-6-8
- [4] KLIMŠA, David *Vnější a vnitřní ochrana před bleskem*, 2. vyd. Praha: IN-EL 2014, 137 s., ISBN 978-80-86230-98-6
- [5] ROUS, Zdeněk *Přepětíové ochrany v elektrických instalacích do 1000 V*, 1. vyd. Praha: IN-EL 1999, 146 s., ISBN 80-86230-06-6
- [6] POHLUDKA, Jan, HRUBÝ, Jaromír *Elektrická zařízení v prostorách s nebezpečím výbuchu hořlavých plynů, par a prachů*, 1. vyd. Praha: IN-EL 2001, 140 s., ISBN 80-86230-23-6
- [7] MAYER, Daniel *Pohledy do minulosti elektrotechniky* 2. vyd. České Budějovice Kopp 2004, 436 s., ISBN 80-7232-219-2
- [8] KOLOMÝ, Rudolf *Prokop Diviš vynálezce uzemněného bleskosvodu*, 1. vyd. Praha Prometheus 2004, 48 s., ISBN 80-7196-275-9
- [9] DEHN, *Light protection guide*, 3. vyd. z roku 2014, ISBN 978-3-9813770-1-9
- [10] ČSN EN 62305-1 ed.2 Ochrana před bleskem - Část 1: Obecné principy, Praha ÚNMZ 9/2011
- [11] ČSN EN 62305-2 ed.2 Ochrana před bleskem - Část 2: Řízení rizika, Praha ÚNMZ 2/2013
- [12] ČSN EN 62305-3 ed.2 Ochrana před bleskem - Část 3: Hmotné škody na stavbách a ohrožení života, Praha ÚNMZ 1/2012
- [13] ČSN EN 62305-4 ed.2 Ochrana před bleskem - Část 4: Elektrické a elektronické systémy ve stavbách, Praha ÚNMZ 9/2011
- [14] ČSN EN 62305-4 Ochrana před bleskem - Část 4: Elektrické a elektronické systémy ve stavbách, Praha ÚNMZ 11/2006
- [15] TNI 34 1390 Ochrana před bleskem - Komentář k souboru norem ČSN EN 62305-1 až 4, Praha ÚNMZ 2008
- [16] ČSN EN 60079-14 ed.4 Výbušné atmosféry - Část 14: Návrh, výběr a zřizování elektrických instalací, Praha ÚNMZ 9/2014
- [17] DEHN Katalog hromosvodních součástí, montážní příručka 2015/16
- [18] DEHN Katalog přepětíových ochran, montážní příručka 2015/16
- [19] EATON Svodiče přepětí, Aplikační příručka 2015
- [20] OEZ Aplikační příručka přepětíové ochrany Minia, 2015
- [21] SALTEK Katalog ochrany před přepětím, 2016
- [22] časopis ELEKTRO 5/2015, FCC Public, str. 28-36, příloha ochrana před bleskem a přepětím
- [23] časopis ELEKTRO 5/2011, FCC Public, str. 18-21, článek Volby vodné přepětíové ochrany
- [24] speciál časopisu ELEKTRO, FCC Public, 74 s., Tipy a triky při instalaci přepětíových ochran

- [25] Where Lightning Strikes, science.nasa.gov, [cit. 2016-4-20], dostupné z: http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2001/ast05dec_1/
- [26] New progress of lightning discharge observation, www.isas.jaxa.jp [cit. 2016-4-20], dostupné z: <http://www.isas.jaxa.jp/e/forefront/2006/takahashi/>
- [27] Two simultaneous charge structures in thunderstorm convection, [cit. 2016-4-20], dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2001JD000904/full/>
- [28] Volcano Lightning Wallpaper, [cit. 2016-4-20], dostupné z: <http://hdwallpaperbackgrounds.net/volcano-lightning-wallpaper/>
- [29] ČSN 33 2000-5-54 Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-54: Výběr a stavba elektrických zařízení - Uzemnění a ochranné vodiče, Praha ÚNMZ 5/2012